

## **ANEXO 7 - MANUAIS COM OS PARÂMETROS DO SISTEMA PADRÃO**

### **Texto Informativo para leitura deste anexo**

Para a definição dos parâmetros de qualidade da água nos sistemas de dessalinização pelo Programa Água Doce, é preciso considerar, nas publicações que se seguem, os valores estabelecidos e atualizados pela Portaria GM/MS nº 888/21. Portanto:

Onde se lê:

*Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017.*

Ou ainda:

*Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011.*

Leia-se:

*Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.*

Para as demais orientações, deve-se manter as recomendações descritas neste anexo de modo a instruir técnicos e profissionais quanto ao atendimento da qualidade da água produzida pelos dessalinizadores.

## **PARÂMETROS DO PROCESSO DE OSMOSE INVERSA E DE QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO**

***"Sheetham, Sushihi, Sivam, Isthamb, Iahu Vimalamb Shadgunamb" (Rig Veda)***

Características desejáveis para a água potável segundo escritura milenar da Índia Antiga: fria ao toque, limpa, com valor nutritivo, transparente, com equilíbrio ácido básico (SADGIR e VAMANRAO, 2003).

## SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO.....	6
2	INTRODUÇÃO.....	7
3	PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA.....	9
3.1	Parâmetros Físicos.....	10
3.1.1	Cor.....	10
3.1.2	Turbidez.....	11
3.1.3	Sólidos.....	13
3.1.4	Condutividade elétrica.....	15
3.1.5	Temperatura.....	16
3.1.6	Gosto e odor.....	17
3.2	Parâmetros Químicos.....	17
3.2.1	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	18
3.2.2	Dureza Total.....	19
3.2.3	Sódio.....	22
3.2.4	Potássio.....	23
3.2.5	Ferro e Manganês.....	24
3.2.6	Alcalinidade.....	28
3.2.7	Sulfato.....	31
3.2.8	Cloreto.....	32
3.2.9	Nitrogênio (Amônia, Nitrato e Nitrito).....	34
3.2.10	Fluoretos.....	38
3.2.11	Sílica.....	39
3.3	Parâmetros Microbiológicos.....	40
3.3.1	Coliformes totais.....	43
3.3.2	<i>Escherichia coli</i> .....	44

4	PARÂMETROS DO PROCESSO DE OSMOSE INVERSA.....	46
4.1	Fluxo do Permeado.....	46
4.2	Pressão Osmótica.....	47
4.3	Recuperação.....	48
4.4	Rejeição de Sais.....	49
4.5	Balanço de Massa.....	49
4.6	Taxa de Passagens de Sais.....	51
4.7	Concentração de Polarização.....	51
4.8	Potenciais de Incrustações.....	53
4.8.1	Índice de Saturação de Langelier.....	54
4.8.2	Índice de Densidade de Sedimentos.....	56
4.8.3	Indicadores de Incrustações de Sulfato.....	58
4.8.4	Estimativa do Potencial de Incrustação de Sílica.....	59
5	QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO.....	62
5.1	Fonte Hídrica: Água do Poço.....	64
5.2	Pré-tratamento: Água de Alimentação.....	67
5.2.1	Incrustação Inorgânica.....	68
5.2.2	Incrustação Microbiológica.....	73
5.3	Pós-tratamento: Água Dessalinizada.....	76
5.4	Chafariz: Água para Consumo Humano.....	78
5.5	Cocho: Água para dessedentação Animal.....	82
6	MONITORAMENTO EM SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DO PROGRAMA ÁGUA DOCE.....	85
6.1	Monitoramento da Qualidade das Águas.....	85
6.2	Plano de amostragem para monitoramento da qualidade das águas nos sistemas de dessalinização do PAD.....	88
6.3	Monitoramento das variáveis de operação do equipamento.....	91
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95

8	ANEXOS.....	102
8.1	GRÁFICOS PARA CÁLCULOS DOS POTENCIAIS DE INCRUSTAÇÃO.....	102
8.2	PLANILHA PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO.....	107
8.3	PLANILHA DE MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS DE OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE DESSALINIZAÇÃO.....	108

## **1 APRESENTAÇÃO**

O Programa Água Doce promove a melhoria do acesso à água no semiárido brasileiro através da implantação e recuperação de sistemas de dessalinização, que utilizam o processo de osmose inversa para produzir água para consumo humano a partir de águas subterrâneas salobras e salinas.

Em função da necessidade de definição dos parâmetros de qualidade da água nos sistemas de dessalinização implantados pelo Programa Água Doce, esta publicação tem como objetivo principal auxiliar técnicos e profissionais da área com relação aos parâmetros que são inerentes ao processo de osmose inversa e no que concerne ao atendimento ao Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde (antiga Portaria nº 2.914/2011).

A partir de observações de recomendações nacionais e internacionais, definição de parâmetros que não estão na portaria, mas que são importantes para o processo de osmose inversa, apresentamos a importância de cada um deles e sua aplicação no monitoramento dos sistemas do PAD, sempre com foco no controle da qualidade da água dessalinizada produzida para consumo humano.

## 2 INTRODUÇÃO

Em seu estado puro, a água é um líquido incolor, insípido e inodoro, porém devido as suas propriedades de solvente e a sua capacidade de transportar partículas, a água pura não é encontrada na natureza, pois sempre apresenta certa quantidade de impurezas decorrentes do meio ambiente onde está inserida.

As águas naturais podem ser classificadas como meteóricas, superficiais ou subterrâneas, e as impurezas presentes na mesma variam devido a natureza do solo, das condições climáticas, origem e grau de poluição. Ao cair na forma de chuva (águas meteóricas), já carrega impurezas do ar. Ao atingir o solo, seu grande poder de dissolução faz com que diversas substâncias alterem a sua composição à medida que ocorre a sua distribuição nas diversas fontes hídricas da superfície do globo terrestre (águas superficiais), bem como, ao infiltrar no solo na formação das águas subterrâneas.

Os constituintes geralmente encontrados junto com a água são sais dissolvidos inorgânicos e orgânicos, matéria orgânica em suspensão, material coloidal, gases dissolvidos e microorganismos. Cada constituinte encontrado na água confere características próprias de natureza física, química e biológica devido à sua presença.

A qualidade é um aspecto da água que assegura determinado uso ou conjunto de usos e é representada por estas 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 (Derísio, 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 qualidade da água definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar seus constituintes permite que se estabeleçam padrões de qualidade, classificando-os, de acordo com seus usos (consumo humano, dessedentação animal, irrigação, industrial, piscicultura, aquicultura, recreação e urbano).

Para o consumo humano, a água deve estar livre de matéria suspensa visível, cor, gosto, odor, microorganismos patogênicos e quaisquer substâncias orgânicas ou inorgânicas que possam produzir efeitos fisiológicos prejudiciais. Em linhas gerais, água potável é aquela que pode ser consumida sem riscos à saúde e sem causar rejeição ao consumo. Sendo assim, o padrão de potabilidade da água é composto por um conjunto de características (parâmetros) que lhe confere qualidade própria para o consumo humano.

### 3 PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

No Brasil, o padrão de qualidade da água destinada ao consumo humano é definido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde (Brasil, 2017). Este anexo da 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, aplicada à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema convencional de tratamento ou solução alternativa, coletiva ou individual de abastecimento de água.

Este padrão de potabilidade definido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde é composto por: padrão microbiológico da água para consumo humano; padrão de turbidez para a água pós-filtração ou pré-desinfecção; padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam riscos à saúde (inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção); padrão de cianotoxinas da água para consumo humano; padrão de radioatividade da água para consumo humano e padrão organoléptico de potabilidade.

Os parâmetros são dispostos com seus respectivos valores máximos permitidos (VMP) e a potabilidade da água é aferida pelo atendimento, em simultâneo, aos VMP (concentrações limite) estabelecidos para cada parâmetro.

O Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 também determina que todas as metodologias analíticas para determinação dos parâmetros de qualidade da água devem atender às normas nacionais ou internacionais mais recentes, tais como: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de autoria das instituições American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF); United States Environmental Protection Agency (USEPA); normas publicadas pela International Standardization Organization (ISO); e metodologias propostas pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2004).

Os métodos analíticos clássicos são baseados em reações químicas, por volumetria ou gravimetria. Nas análises volumétricas para a determinação de cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{-2}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), são utilizados métodos distintos empregando metodologias tradicionais. Por análise gravimétrica determinam-se os sólidos.

Através de análises instrumentais, pode-se determinar por exemplo, sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) por espectrofotometria de chama e ferro total (Fe), sílica total ( $\text{SiO}_2$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) por colorimetria.

A seguir serão descritos os principais parâmetros que são determinados de forma rotineira em laboratórios de análises de água. Alguns parâmetros são de maior relevância para o controle da qualidade da água para consumo humano e outros para projetos de unidades de tratamento de água convencional ou alternativa, denominados de parâmetros operacionais.

### 3.1 Parâmetros Físicos.

Os principais parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente as águas naturais são a cor, a turbidez, os níveis de sólidos em suas diversas frações, condutividade elétrica, a temperatura, o sabor e o odor. Embora sejam parâmetros físicos, fornecem indicações importantes para a caracterização da qualidade química da água.

As suas aplicações nos estudos e fenômenos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos e de caracterização e controle de qualidade de águas para abastecimento público e águas residuárias, tornam as características físicas indispensáveis à maioria dos trabalhos envolvendo qualidade de águas.

#### 3.1.1 Cor

A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas de dimensões inferior a  $1\ \mu\text{m}$  (colóides) finamente dispersas, originadas pela presença de substâncias decorrentes da decomposição de matéria orgânica (plâncton, substâncias húmicas), pela presença de substâncias tais como ferro e manganês ou pela introdução de efluentes industriais. Cor é um parâmetro essencialmente de

natureza estética e componente do padrão de aceitação para consumo humano (Brasil, 2012).

Sendo de origem natural, não representa risco direto à saúde, mas o consumidor pode questionar a sua confiabilidade. Além disso, a cloração da água contendo matéria orgânica dissolvida, responsável pela cor, pode gerar trihalometanos que são produtos potencialmente cancerígenos (por exemplo, clorofórmio). A partir de 1970, inicia-se uma maior preocupação com estas substâncias, sendo os trihalometanos considerados atualmente como parâmetro de qualidade da água para consumo humano (Libânio, 2008).

A medida da cor de uma água é realizada comparando a amostra com um padrão de cobalto-platina, sendo o resultado fornecido em unidades de cor, também chamadas uH (unidade Hazen). As águas naturais apresentam, em geral, intensidades de cor variando de 0 a 200 uH. Para atender o padrão de potabilidade, a água deve apresentar intensidade de cor aparente inferior a 5 uH.

Especial cuidado deve ser tomado na anotação do pH em que foi realizada a medida da cor, pois sua intensidade aumenta com o pH. Da mesma forma a cor é influenciada por materiais sólidos em suspensão (turbidez), que devem ser eliminadas antes da medida. Para águas relativamente límpidas a determinação pode ser feita sem a preocupação com a turbidez. Neste caso a cor obtida é referida como sendo aparente. A cor aparente inclui a turbidez. Após a centrifugação, elimina-se esta e se obtém a cor verdadeira. Para ser potável uma água não deve apresentar nenhuma cor de considerável intensidade.

A cor é um parâmetro organoléptico de potabilidade, e segundo o Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, o VMP em Unidade Hazen (mg Pt-Co/L) é 15 µH. Segundo WHO, 2004, o índice máximo permitido deve ser 20 µH. Em geral as águas subterrâneas apresentam valores de cor inferiores a 5 µH.

### 3.1.2 Turbidez

A turbidez é uma característica da água devida à presença de partículas suspensas com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos colóides, dependendo do grau de turbidez. A presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando a água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa.

A turbidez pode ser causada por uma variedade de materiais: partículas de

argila ou lodo, descarga de esgoto doméstico ou a presença acentuada de microorganismos. Ao contrário da cor, que é causada por substâncias dissolvidas, a turbidez é provocada por partículas em suspensão, sendo, portanto, reduzida por sedimentação. Em lagos e represas, onde a velocidade de escoamento da água é menor, a turbidez pode ser bastante baixa. Além da ocorrência de origem natural, a turbidez da água pode, também, ser causada por lançamentos de esgotos domésticos ou industriais.

Em relação às características físicas da água, a turbidez desempenha papel preponderante na eficiência da desinfecção, promovendo efeito escudo sobre os microorganismos, protegendo-os da ação desinfetante. Por este motivo, atualmente a turbidez é considerada um parâmetro de avaliação indireta da qualidade microbiológica para as águas tratadas principalmente no que concerne a remoção de protozoários, o que tornou este parâmetro bastante restritivo e rigoroso nos padrões de potabilidade mundial (Richter, 2009).

Através de um turbidímetro, a dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa amostra de água é medida comparando o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o espalhamento de um feixe de igual intensidade ao passar por uma suspensão padrão (Santos, 1997). Quanto maior o espalhamento maior será a turbidez. Os valores são expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT). A cor da água interfere negativamente na medida da turbidez devido à sua propriedade de absorver luz.

A turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 UNT. Para fins de potabilidade, a turbidez deve ser inferior a 1,0 UNT. Tal restrição fundamenta-se na influência da turbidez nos processos usuais de desinfecção.

A turbidez assume também importância estético-organoléptica, podendo provocar rejeição ao consumo. O padrão de turbidez para água distribuída, segundo Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, é de 5,0 UNT. WHO, 2004, também estabelece 5,0 UNT como limite máximo de turbidez em água potável.

### 3.1.3 Sólidos

A presença de sólidos na água é comentada neste subitem relativo aos parâmetros físicos, muito embora os sólidos possam, também, estar associados a características químicas ou biológicas. Correspondem a toda matéria que permanece como resíduo após evaporação e secagem da amostra em estufa a uma

temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado.

Os sólidos presentes na água podem estar distribuídos da seguinte forma: em suspensão (sedimentáveis e não sedimentáveis) e dissolvidos, podendo, ambos, ser fracionados em voláteis e fixos. Sólidos em suspensão podem ser definidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração. Sólidos dissolvidos são constituídos por partículas que permanecem em solução mesmo após a filtração. Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos (utilizando-se balança analítica ou de precisão), com exceção dos sólidos sedimentáveis, cujo método mais comum é o volumétrico (método do cone Imhoff).

As diversas frações de sólidos são definidas por:

- a) Sólidos totais (ST): resíduo após evaporação de uma porção de amostra e sua posterior secagem em temperatura na faixa de 103 a 105 °C, até peso constante. Também denominado resíduo total.
- b) Sólidos dissolvidos totais (TDS): é a porção dos sólidos totais que permanece como resíduo na amostra, após filtragem em um filtro que propicia a retenção de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2 µm, seguido de evaporação e secagem da amostra numa estufa a 180 °C.
- c) Sólidos suspensos (SS): é a porção dos sólidos totais que fica retida em um filtro que propicia a retenção de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2 µm. Também denominado resíduo não filtrável (RNF).
- d) Sólidos Voláteis (SV): é a porção dos sólidos (sólidos totais, suspensos ou dissolvidos) que se perde após a ignição ou calcinação da amostra a uma temperatura na faixa de 550 a 600°C, durante uma hora para sólidos totais ou dissolvidos voláteis ou 15 minutos para sólidos em suspensão voláteis, em forno mufla. Também denominado resíduo volátil.
- e) Sólidos Fixos (SF): É a porção dos sólidos (totais, suspensos ou dissolvidos) que resta após a ignição ou calcinação a 550-600°C após uma hora (para sólidos totais ou dissolvidos fixos) ou 15 minutos (para sólidos em suspensão fixos) em forno mufla. Também denominado resíduo fixo.
- f) Sólidos Sedimentáveis (SSed): É a porção dos sólidos em suspensão

que se sedimenta sob a ação da gravidade durante um período de uma hora, a partir de um litro de amostra mantida em repouso em um cone Imhoff.

O TDS é um parâmetro quantificado pelo total de substâncias dissolvidas numa água ou efluentes, incluindo matéria orgânica, minerais e sais outras substâncias inorgânicas, tais como, cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonatos, cloretos e sulfatos. Sua origem nas águas superficiais ou subterrâneas provém de fontes naturais, esgotos, escoamentos urbanos e efluentes industriais. As concentrações variam consideravelmente em diferentes regiões geológicas devido às diferenças entre as solubilidades dos minerais.

As águas naturais que contém níveis elevados de sólidos dissolvidos são impróprias para o uso industrial e considerada de qualidade inferior para consumo humano. Por esse motivo, o padrão de potabilidade estabelece referencia apenas aos sólidos totais dissolvidos, pois afetam a qualidade organoléptica da água.

O sabor da água para uma concentração de sólidos dissolvidos inferior a 600 mg/L é considerada boa. Porém, em concentrações maiores, o sabor da água torna-se insuportável causando a rejeição pelos consumidores. Por outro lado, uma água com um TDS reduzido numa faixa de 25 a 50 mg/L é caracterizada como insípida (WHO, 1980).

Segundo WHO, 2004, e o padrão organoléptico de potabilidade do Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, o limite máximo permissível de TDS na água é de 1.000 mg/L. Em níveis mais elevados, além do gosto, o TDS causa incrustações nas tubulações de sistemas de abastecimento de água, aquecedores, caldeiras industriais e aparelhos domésticos.

Outro parâmetro que será descrito posteriormente, a condutividade elétrica, também é uma medida da concentração dos constituintes minerais presentes na água fornecendo uma boa estimativa do TDS de uma água subterrânea quando multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75.

### 3.1.4 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica de uma amostra de água é a medida da capacidade em conduzir com maior ou menor intensidade uma corrente elétrica devido à concentração de sais dissolvidos na água na forma de íons (partículas carregadas eletricamente). Ou seja, quanto maior a quantidade de íons dissolvidos na água

maior a capacidade de se estabelecer uma corrente elétrica e essa capacidade se reflete na condutividade elétrica.

A água quimicamente pura tem uma baixa condutividade elétrica, entretanto uma pequeníssima quantidade de sais dissolvidos é suficiente para torná-la condutora. Assim, a condutividade reflete o teor salino da água. Outra forma de se quantificar o teor de sais dissolvidos na água é através do TDS (totais de sólidos dissolvidos) que é um parâmetro de potabilidade.

Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água. A medida é feita através de um condutivímetro que fornece o resultado em  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a uma dada temperatura, o que corresponde ao  $\mu\text{Mho}/\text{cm}$ . A unidade Mho é o inverso da unidade de resistência, Ohm, sendo a condutividade elétrica, o inverso da resistência elétrica. A condutividade aumenta com a temperatura sendo necessário fazer a correção da medida caso o condutivímetro não possua o ajuste automático.

Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a oportunidade para ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica. Muito embora não se possa esperar uma relação direta entre condutividade e concentração de sólidos totais dissolvidos, já que as águas naturais não são soluções simples, tal correlação é possível para águas onde exista a predominância bem definida de um determinado íon em solução (ex: águas subterrâneas).

Enquanto as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 3.1.5 Temperatura

A temperatura expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo que a sua variação é responsável pela transferência de calor em um meio. A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas). A temperatura exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias.

A temperatura pode ser considerada a característica mais importante da



fonte hídrica, uma vez que as propriedades físicas, químicas e biológicas da água sofrem influência da temperatura. Pode afetar a palatabilidade da água pela intensificação de gosto e odor, sendo desagradável ao paladar águas com temperaturas superiores a 27 °C (Schwarzbach et al, 2000). Estudos mostram que a temperatura da água na faixa de 15 a 35 °C é mais adequada para as necessidades fisiológicas humanas e quando a temperatura se encontra acima de 35 °C ou abaixo de 15 °C há uma redução no consumo de água pelos usuários (WHO, 1980).

As águas subterrâneas possuem uma amplitude térmica pequena, isto é, sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica, com exceção dos aquíferos freáticos pouco profundos. Em profundidades maiores a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico local (em média 1 °C a cada 30 m). Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam, em geral, temperaturas na faixa de 20°C a 30°C. Entretanto, em regiões mais frias, como no sul do país, a temperatura da água em períodos de inverno pode baixar a valores entre 5°C e 15°C, atingindo, em alguns casos, até o ponto de congelamento (FUNASA, 2012).

### 3.1.6 Gosto e odor

As características de gosto e odor são consideradas conjuntamente, pois geralmente a sensação de gosto origina-se do odor, sendo sensações subjetivas possuem certa dificuldade na determinação e são causadas por impurezas dissolvidas, freqüentemente de natureza orgânica, como fenóis e clorofenóis, resíduos industriais, gases dissolvidos, sais entre outros (Richter, 2009). Podem ter origem natural, por exemplo, por causa da presença de matéria orgânica ou organismos aquáticos, ou ser conferidos à água pela presença de contaminantes químicos ou subprodutos da desinfecção.

Sólidos totais em concentrações elevadas também produzem gosto, porém sem odor. Como o paladar humano tem sensibilidade distinta para os diversos sais, poucos miligramas por litro de alguns sais (ferro e cobre, por exemplo) é detectável, enquanto que várias centenas de miligramas de cloreto de sódio não são apercebidas. Em geral as águas subterrâneas são desprovidas de odor.

Estes parâmetros também podem servir como alerta de contaminação e de necessidade de investigação da origem, por exemplo, no caso de algas e cianobactérias.

Este parâmetro compõe o padrão organoléptico de potabilidade do Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, o qual deve ser determinado através

do método de limiar de percepção de odor e estabelece a intensidade máxima de percepção igual a 6 (seis) para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro residual livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.

### 3.2 Parâmetros Químicos.

As características químicas são determinadas por meio de análises, seguindo métodos adequados e padronizados. Os resultados são dados de um modo geral em concentração de substâncias em miligramas por litro (mg/L). Os parâmetros químicos avaliados por análises quantitativas podem ser realizados através de métodos clássicos ou métodos instrumentais que estão definidos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1998).

As características químicas da água são de grande importância do ponto de vista sanitário, pois determinadas substâncias podem inviabilizar o uso de certas tecnologias de tratamento ou exigir tratamentos específicos para sua remoção, como por exemplo, uma água com alto teor de cloretos (alta salinidade) que não podem ser removidos por meio de tratamento convencional, apenas por processos de dessalinização que comumente não se encontra nas estações de tratamento de água no Brasil.

#### 3.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH).

O pH da água é a medida da concentração dos íons hidrogênio e sua atividade, quantificando a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. As moléculas de água quando se dissociam dividem-se em íons  $H^+$  (Hidrogênio) e  $OH^-$  (Hidroxila). Define-se então pH como o logaritmo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio ( $pH = -\log [H^+]$ ). 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  $OH^-$ ) ou inferior (ácido com predominância de íons  $H^+$ ).

Os principais fatores que determinam o pH da água são a concentração de gás carbônico dissolvido e a alcalinidade. O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5 (Santos, 1997). Nos ambientes naturais, não ocorre uma concentração igual de íons  $H^+$  e  $OH^-$ , mas suas concentrações são fortemente influenciadas por sais (ex: carbonato de cálcio), ácidos e bases presentes no meio. Apesar disso, as águas naturais tendem a apresentar um pH próximo da neutralidade em decorrência de sua capacidade de tamponamento.

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 uma das mais comuns e importantes determinações no contexto da química da água.

Do ponto de vista químico, a medida do pH é um dos testes mais importantes para a caracterização físico-química da água e é utilizado praticamente em todas as fases do tratamento de efluentes ou da água potável. O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos.

A eficiência das operações unitárias aplicadas no tratamento da água para consumo humano está diretamente relacionada com o pH, intervindo na coagulação química, controle da corrosão, abrandamento e desinfecção. Águas com baixos valores de pH tendem a ser agressivas para instalações metálicas. O condicionamento final da água após o tratamento pode exigir também a correção do pH para evitar problemas de corrosão. Importante ressaltar, o pH é um parâmetro fundamental de controle da desinfecção, pois, em um pH elevado a cloração perde eficiência.

No Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 recomenda-se o fornecimento de água em pH na faixa de 6,0 a 9,5. Para sua medição utiliza-se o método eletrométrico através de um pHmetro (potenciômetro) com eletrodo específico e soluções tampões para calibração (pH 4,0; pH 7,0 e pH 10,0).

### 3.2.2 Dureza Total.

É causada principalmente pela presença de cálcio e magnésio, além de outros cátions como ferro, manganês, estrôncio, zinco, alumínio, hidrogênio, associados a ânions carbonato (mais propriamente bicarbonato, que é mais solúvel) e sulfato, principalmente, além de outros ânions como nitrato, silicato e cloreto. Sendo assim, a dureza indica a concentração de cátions metálicos presentes na água.

Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os cátions divalentes cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) quase sempre associado ao íon sulfato e, em menor frequência, aos cátions de ferro ( $\text{Fe}^{+2}$ ) e manganês ( $\text{Mn}^{+2}$ ) associado ao íon nitrato e estrôncio ( $\text{Sr}^{+2}$ ) associado ao íon cloreto. São quatro os principais compostos que conferem dureza às águas: bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio.

A dureza total da água deve-se a sais de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ), cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) e nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) e dependendo do ânion com a qual ela está associada pode ser classificada como dureza carbonato e dureza não carbonato. A dureza correspondente à alcalinidade é denominada dureza carbonato ou temporária, enquanto as demais formas são caracterizadas como dureza não carbonato ou permanente.

A dureza temporária pode ser eliminada por meio de fervura da água, onde os cátions estão na forma de bicarbonato e com o calor podem ser transformados em carbonatos que são insolúveis ou pouco solúveis. A dureza permanente está associada à presença de sulfatos, cloretos ou nitratos em solução e que não são susceptíveis à fervura. O calor não tem efeito sobre a dureza permanente, apenas soluções alcalinas.

Se for devida aos cátions cálcio e magnésio, a dureza origina-se dos sais bicarbonatos e carbonatos de cálcio e magnésio (dureza carbonato ou temporária), sulfatos de cálcio e magnésio, cloretos de cálcio e magnésio e nitratos de cálcio e magnésio (dureza não carbonato ou permanente).

A sua origem natural é da dissolução de rochas calcárias ou outros minerais que contenham cálcio e magnésio. Porém se for de origem antrópica será devido a despejos industriais.

A dureza da água é medida geralmente em mg/L de carbonato de cálcio (mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ). A sua determinação é realizada através de análise volumétrica. Embora não haja uma convenção formal, a título de praticidade, a água pode ser classificada quanto à dureza em:

- a) Branda (0 a 40 mg/L);
- b) Moderada (40 a 100 mg/L);

- c) Dura (100 a 300 mg/L);
- d) Muito dura (300 a 500 mg/L) e;
- e) Extremamente dura (com teores acima de 500 mg/L).

Quase toda dureza de uma água é proveniente do cálcio e do magnésio nela dissolvidos. A dureza de uma água é proporcional à concentração de sais de cálcio e magnésio. Sendo assim, o VMP estabelecido para a dureza total no padrão organoléptico de potabilidade do Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, é de 500 mg/L e representa as concentrações de cálcio e magnésio permitidas na água para consumo humano.

O cálcio e o magnésio são importantes para a estrutura óssea e circulação coronária do organismo humano. Por esta razão, águas com baixas quantidades destes elementos quando consumidas permanentemente, ocasionam problemas para a saúde pública. Por outro lado, existem indícios da possibilidade de um aumento na incidência de cálculo renal em cidades abastecidas com águas duras e em determinadas concentrações, a dureza da água causa sabor desagradável e pode ter efeitos laxativos. No entanto, do ponto de vista de saúde pública, não há objeções ao consumo de águas duras (Richter, 2009; Heller e Pádua, 2006).

Para o abastecimento público de água, elevados teores da dureza, refletem inicialmente no consumo excessivo de sabão nas lavagens domésticas. Por isso a dureza é conhecida por sua propriedade de impedir a formação de espumas como o sabão, além de causarem corrosão e incrustações em instalações, equipamentos e canalizações.

Os sais de cálcio e magnésio presentes na água podem ser removidos por abrandamento, desmineralização (resinas de troca iônica), nanofiltração, osmose inversa e evaporação.

### 3.2.3 Sódio.

Um dos elementos mais abundantes da terra, o sódio é um dos constituintes da composição química das águas naturais, plantas e animais, sendo de fundamental importância para os organismos vivos. Seus sais são altamente solúveis em água, sendo encontrados na forma iônica ( $\text{Na}^+$ ).

O aumento dos níveis de sódio nas águas superficiais ocorre geralmente

devido a descargas de esgotos, efluentes industriais e uso sazonal de sais em rodovias para controlar neve e gelo. A última fonte citada também contribui para aumentar os níveis de sódio nas águas subterrâneas. Nas áreas litorâneas, a intrusão de águas marinhas pode também resultar em níveis mais elevados de sódio nas águas superficiais.

As concentrações de sódio nas águas naturais superficiais variam consideravelmente. Dependendo das condições geológicas do local e das atividades antrópicas, podem estender-se de 1 mg/L ou menos, até 10 mg/L ou mais em salmoura natural. Muitas águas superficiais, incluindo aquelas que recebem efluentes, tem níveis bem abaixo de 50 mg/L.

O sódio é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas. Sua principal fonte mineral são os feldspatos plagioclásios que são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente os químicos. Os sais de sódio formados nestes processos são muito solúveis.

As concentrações nas águas subterrâneas frequentemente excedem 50 mg/L, mas as ocorrências variam entre 0,1 e 100 mg/L, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga. Em aquíferos litorâneos, a presença de sódio na água também poderá estar relacionada à intrusão da água do mar.

O sódio é comumente medido onde a água é utilizada para dessedentação de animais ou para agricultura, particularmente na irrigação. Portanto a quantidade de sódio presente na água é um elemento limitante de seu uso na agricultura. Quando o teor de sódio em certos tipos de solo é elevado, sua estrutura pode degradar-se pelo restrito movimento da água, afetando o crescimento das plantas. O sódio presente na água destinada à irrigação pode ser adsorvido pelas argilas levando ao seu endurecimento e impermeabilização.

Segundo WHO, 2004, o valor máximo recomendável de sódio na água potável é 200 mg/L. Embora a concentração de sódio na água potável geralmente seja menor que 20 mg/L, esse valor pode ser excedido em alguns países, porém uma concentração acima de 200 mg/L pode gerar um gosto não aceitável. Por isso, o sódio é um parâmetro do padrão organoléptico para consumo humano do Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, cujo VMP é 200 mg/L.

#### 3.2.4 Potássio

O potássio é usualmente encontrado na forma iônica e seus sais são altamente solúveis e disponíveis para serem incorporados em estruturas minerais ou acumulados pela biota aquática, pois é um elemento nutricional essencial. Sendo indispensável para o crescimento das plantas, está entre os três elementos consumidos em maior quantidade e é encontrado na maioria dos tipos de solo.

Em se tratando de consumo humano, a carência de potássio no organismo pode causar os seguintes problemas: acne, prisão de ventre, depressão, cansaço, problemas de crescimento, insônia, nervosismo, dificuldades respiratórias, retenção de sal e batimentos cardíacos fracos. Por outro lado, o excesso como nutriente pode causar fraqueza e dificuldade na articulação de palavras.

Apesar de ser um elemento químico abundante na crosta terrestre, ocorre em baixas concentrações nas águas naturais superficiais ou subterrâneas, pois é facilmente fixado pelas argilas e intensivamente consumido pelos vegetais. As concentrações em águas naturais superficiais ou subterrâneas são usualmente menores que 10 mg/L. Nas águas subterrâneas são mais frequentes valores entre 1 e 5 mg/L.

Entretanto, sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura, podendo também estar presente nas águas naturais devido a descargas industriais e lixiviação de terras agrícolas. Valores da ordem de grandeza de 100 e 25.000 mg/L, podem indicar a ocorrência de fontes quentes e salmouras, respectivamente.

WHO, 2004, não estabelece valor máximo recomendável para consumo humano devido a ocorrência natural de concentrações de potássio bastante inferiores aos limites que causam prejuízos a saúde. O potássio não é um parâmetro de qualidade do Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, porém sua quantificação é necessária, pois contribui para o total de sólidos dissolvidos de uma amostra de água, sendo ambos os parâmetros necessários para projetar equipamentos de dessalinização por osmose inversa.

### 3.2.5 Ferro e Manganês

O ferro está presente, juntamente com o manganês, nas formas insolúveis  $\text{Fe}^{+3}$  e  $\text{Mn}^{+4}$ , numa grande quantidade de tipos de solos. Na ausência de oxigênio dissolvido (ex: água subterrânea), eles se apresentam na forma solúvel ( $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Mn}^{+2}$ ). Caso a água contendo a forma reduzida seja exposta ao ar atmosférico (ex: no reservatório da água do poço), o ferro e o manganês voltam as suas formas

insolúveis ( $\text{Fe}^{+3}$  e  $\text{Mn}^{+4}$ ). Os sais de ferro e manganês (por exemplo, carbonatos, sulfetos e cloretos) quando oxidados, formam precipitados e conferem cor à água. Em certas concentrações, esses sais também podem causar sabor e odor, porém nessas concentrações ocorre a rejeição do consumidor devido à cor. A água subterrânea é mais propensa a apresentar teores elevados de ferro e manganês (Von Sperling, 1995). Em geral, estas substâncias não estão associadas a problemas de saúde.

O ferro é um elemento presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de 0,3 mg/L. Suas fontes são minerais escuros portadores de ferro: magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. O ferro no estado ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes o  $\text{Fe}^{+2}$  passa a  $\text{Fe}^{+3}$  dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água.

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água gerando o carbonato ferroso, que é solúvel e frequentemente encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro. Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens. Também poderá ser importante a contribuição devida a efluentes industriais, pois muitas indústrias metalúrgicas desenvolvem atividades de remoção da camada oxidada (ferrugem) das peças antes de seu uso, processo conhecido por decapagem, que normalmente é procedida através da passagem da peça em banho ácido.

No tratamento de águas para abastecimento, deve-se destacar a influência da presença de ferro na etapa de coagulação e floculação. As águas que contêm ferro caracterizam-se por apresentar cor elevada e turbidez baixa. Os flocos formados geralmente são pequenos, ditos “pontuais”, com velocidades de sedimentação muito baixa. Em muitas estações de tratamento de água, este problema só é resolvido mediante a aplicação de cloro, denominada de pré-cloração. Através da oxidação do ferro pelo cloro, os flocos tornam-se maiores e a estação passa a apresentar um funcionamento aceitável. No entanto, é conceito clássico que, por outro lado, a pré-cloração de águas deve ser evitada, pois em caso da existência de certos compostos orgânicos chamados precursores, o cloro reage com eles formando trihalometanos, associados ao desenvolvimento do câncer.

Apesar de o ferro não se constituir em um tóxico, causa diversos problemas



para o abastecimento público de água, conferindo-lhe cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Sua carência nos humanos pode causar, além da anemia, anorexia, sensibilidade óssea, prisão de ventre, distúrbios digestivos, tontura, fadiga, problemas de crescimento, irritabilidade e inflamação da língua. Seu excesso (em nível de nutriente) nos humanos pode causar: igualmente anorexia, tontura, fadiga e dores de cabeça.

Apesar de o organismo humano necessitar de até 19 mg de ferro por dia, os padrões de potabilidade exigem que uma água de abastecimento público não ultrapasse 0,3 mg/L (Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 e WHO, 2004). Este limite é estabelecido em função de problemas estéticos e organolépticos relacionados à presença do ferro na água.

O manganês é um elemento que acompanha o ferro em virtude de seu comportamento geoquímico. Ocorre em teores abaixo de 0,2 mg/L, quase sempre como óxido de manganês bivalente e raramente atinge concentrações de 1,0 mg/L em águas superficiais naturais. Ocorre naturalmente nas águas superficiais e subterrâneas, mas seus compostos são amplamente utilizados em diversas atividades industriais, como por exemplo, indústria do aço, ligas metálicas, baterias, vidros, oxidantes para limpeza, fertilizantes, vernizes, suplementos veterinários, entre outras atividades antropicas que são também responsáveis pela adição de manganês nas fontes hídricas.

Desenvolve coloração negra na água, podendo se apresentar nos estados de oxidação  $Mn^{+2}$  (mais solúvel) e  $Mn^{+4}$  (menos solúvel). Em concentrações menores que 0,05 mg/L geralmente é aceita por consumidores devido ao fato de não ocorrerem manchas negras ou depósitos de seu óxido nos sistemas de abastecimento de água. O manganês é um elemento essencial para muitos organismos, incluindo o ser humano. A principal exposição humana ao manganês é pelo consumo de alimentos sendo geralmente considerado não muito tóxico quando ingerido com a dieta. O padrão organoléptico para consumo humano estabelece um VMP de 0,1 mg/L (Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 e WHO, 2004).

Devido aos critérios de ordem estética e organoléptica (gosto ou odor), o ferro e o manganês compõem o padrão de aceitação para consumo humano. Recentemente o padrão estabelecido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 foi alterado caso os mesmos estejam na sua forma complexa, permitindo concentrações mais elevadas. Uma vez que, quando o ferro e manganês

estão complexados não causa cor na água mesmo que haja um processo de oxidação.

Geralmente, as águas ferruginosas são aeradas antes da filtração para eliminar o ferro. Outra forma de evitar os inconvenientes da precipitação de sais deste elemento químico é usar substâncias complexantes, à base de fosfato, que encapsulam as moléculas dos sais de ferro e manganês, formando compostos estáveis, não oxidáveis nem através de forte cloração, e desta forma mantendo-as permanentemente em solução. O inconveniente deste processo é que ele não elimina o ferro e o manganês presentes na água, e ainda adiciona fosfatos à mesma. Estas substâncias complexantes são também usadas para evitar a precipitação de sais de cálcio e magnésio em águas duras, evitando as indesejáveis incrustações, e diminuindo o consumo de sabão.

A precipitação de ferro presente nas águas é a principal responsável pela perda da capacidade específica de poços profundos. Estas incrustações são produtos da atividade de ferrobactérias. O uso de substâncias orgânicas emulsificantes e polifosfatos nos processos de perfuração e desenvolvimento dos poços criam condições para que as ferrobactérias, naturalmente ocorrente nos aquíferos, proliferem com mais facilidade, fazendo-se necessário uma boa limpeza no processo de instalação do poço. Nos sistemas para abastecimento de água também causa desenvolvimento de depósitos (incrustações) em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição.

A deposição de precipitados de ferro nas membranas de OI é muito comum. Como qualquer incrustação, 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.

As fontes comuns de incrustação de ferro são: aquíferos com baixos teores de oxigênio dissolvido contendo ferro e manganês na forma solúvel, água bruta contendo precipitados de hidróxido de ferro e/ou manganês, presença de matéria orgânica contendo complexos de ferro, flocos de hidróxidos resultantes do processo de coagulação; produtos resultantes da corrosão de materiais da tubulação usada para alimentação do sistema e silicatos contendo ferro.

O método mais utilizado para determinar ferro e manganês em amostras de

água é através do método instrumental chamado colorimetria. A concentração da substância testada é proporcional à intensidade de cor desenvolvida. O valor é exibido por comparação com soluções padronizadas acondicionadas em tubos, conhecidos como tubos de Nessler. Ela também pode ser quantificada utilizando-se colorímetros fotoelétricos, através de uma lâmpada e um conjunto de filtros de vidro colorido, específicos para cada elemento. Outra possibilidade, bem mais precisa, é a determinação por espectrofotometria utilizando para o ferro, o método da fenantrolina e para o manganês, o método do persulfato.

O ferro é encontrado nas águas sob a forma de bicarbonato ferroso. Sua concentração varia de acordo com a região, podendo chegar a concentração de até 100 ppm. Possui tendência à formação de depósitos sobre as superfícies dos tubos da caldeira, podendo provocar rupturas ou bloqueamento. A porosidade apresentada pelos depósitos de ferro facilita o acúmulo de substâncias corrosivas sob esta camada, criando um ambiente propício à corrosão. O ferro pode ser removido das águas por processo de oxidação usando aeração e cloração, para transformação do ferro solúvel ( $\text{Fe}^{+2}$ ) em ferro não solúvel ( $\text{Fe}^{+3}$ ), com posterior retenção em filtro de areia, pelo processo de troca iônica (abrandamento, desmineralização) ou pelo processo de evaporação.

### 3.2.6 Alcalinidade

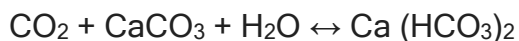
É definida como a medida total das substâncias presentes numa água capazes de neutralizarem ácidos, ou seja, a quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons de hidrogênio presentes na água. Em outras palavras, é a quantidade de substâncias presentes numa água e que atuam como tampão (capacidade de resistir às mudanças de pH). Se numa água quimicamente pura ( $\text{pH} = 7$ ) for adicionada pequena quantidade de um ácido fraco seu pH mudará instantaneamente. Numa água com certa alcalinidade a adição de uma pequena quantidade de ácido fraco não altera o seu pH, porque os íons presentes irão neutralizar o ácido.

A alcalinidade total de uma amostra de água, geralmente é devida aos bicarbonatos de cálcio, magnésio e sódio. Os principais componentes da alcalinidade são os sais do ácido carbônico, ou seja, bicarbonatos e carbonatos, e os hidróxidos. Outros sais de ácidos fracos inorgânicos, como boratos, silicatos, fosfatos, ou de ácidos orgânicos, como sais de ácido húmico, ácido acético etc., também conferem alcalinidade às águas, mas seus efeitos normalmente são desconsiderados por serem pouco representativos. Além disto, esta particularização

permite o cálculo dos três componentes da alcalinidade, individualmente: alcalinidade devido a hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ), alcalinidade devido a carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e alcalinidade devido a bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ).

A alcalinidade total pode ser determinada por volumetria onde é possível quantificar a soma da alcalinidade produzida por todos estes íons presentes numa água, sendo expressa em mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . Com maior frequência, a alcalinidade das águas é devida a bicarbonatos produzidos pela ação do gás carbônico dissolvido nas águas que estão em contato com rochas calcárias (calcita =  $\text{CaCO}_3$ ). Essas águas geralmente possuem alcalinidade elevada.

Os bicarbonatos e, em menor extensão, os carbonatos, que são menos solúveis, dissolvem-se na água devido à sua passagem pelo solo. Se este solo for rico em calcário, o gás carbônico da água o solubiliza, transformando-o em bicarbonato, conforme a reação:



Os carbonatos e hidróxidos podem aparecer em águas onde ocorrem florações de algas (eutrofizadas), sendo que em período de intensa insolação o saldo da fotossíntese em relação à respiração é grande e a retirada de gás carbônico provoca elevação de pH para valores que chegam a atingir 10 unidades. A principal fonte de alcalinidade de hidróxidos em águas naturais decorre da descarga de efluentes de indústrias, onde se empregam bases fortes como soda cáustica e cal hidratada. Em águas tratadas, pode-se registrar a presença de alcalinidade de hidróxidos devido ao processo de abrandamento com cal. A relação entre as substâncias presentes na água, que conferem ou não alcalinidade, e o pH que ela apresenta é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Relação entre as substâncias presentes na água e o pH.

Substancias	Faixas de pH
Hidróxidos e carbonatos	11 - 9,4
Carbonatos e bicarbonatos	9,4 - 8,3
Somente bicarbonatos	8,3 - 4,6
Ácidos minerais	4,6 - 3,0

A alcalinidade das águas não representa risco potencial à saúde pública. Provoca alteração no paladar e a rejeição da água em concentrações inferiores às que eventualmente pudessem trazer prejuízos mais sérios. A alcalinidade não se constitui em padrão de potabilidade, ficando este efeito limitado pelo valor do pH. Também não é padrão de classificação de águas naturais nem de emissão de esgotos, sendo que a importância deste parâmetro se concentra no controle de determinados processos unitários utilizados em estações de tratamento de águas para abastecimento e residuárias.

A alcalinidade não tem significado sanitário, a menos que seja devida a presença de hidróxidos ou contribua demasiadamente na quantidade de sólidos totais. É, entretanto, uma das determinações mais importantes na potabilização da água, já que está diretamente relacionada com os processos de coagulação principalmente quando se utiliza o sulfato de alumínio como coagulante, na redução de dureza e o controle de corrosão (Richter, 2009).

A alcalinidade total geralmente é devida aos bicarbonatos de cálcio, magnésio e sódio, podendo apresentar concentrações que variam de 10 a 30 ppm. Os bicarbonatos agem da mesma forma que os sais de cálcio quando presentes num sistema de geração de vapor. Além de causar as incrustações, liberam gás carbônico que se dissolve na água, sendo altamente corrosivo. A alcalinidade pode ser controlada pelo processo de dealcalinização, desmineralização ou evaporação;

Em águas subterrâneas a alcalinidade é devida principalmente aos carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. Granitos e gnaisses, rochas comuns em muitos estados brasileiros, possuem poucos minerais que contribuem para a alcalinidade das águas subterrâneas.

A alcalinidade é um dos fatores principais que influenciam no funcionamento de sistemas de osmose inversa estando diretamente relacionada à formação de incrustações devido a carbonato de cálcio. Sua determinação é de fundamental importância para os cálculos dos potenciais de incrustação devido a carbonatos e sílica, exercendo grande influência na deposição de precipitados de seus sais na superfície das membranas.

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 as águas de alimentação dos sistemas contêm determinados constituintes, que no decorrer do tempo causam a perda da eficiência na produção de água dessalinizada, devido à 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.

### 3.2.7 Sulfato

O sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) é um dos íons mais abundantes na natureza. Quando presente na água, dependendo da concentração, associados a íons de cálcio e magnésio, promove dureza permanente e pode ser um indicador de poluição de uma das fases de decomposição da matéria orgânica, no ciclo do enxofre. Apresentam-se nas águas como sulfatos de cálcio, sódio e magnésio, com concentrações que variam de 5 a 200 mg/L, dependendo da região proveniente.

São responsáveis pelos mesmos inconvenientes citados para a dureza total. É importante o controle do sulfato na água tratada, pois a sua ingestão provoca efeito laxativo. Já no abastecimento industrial, o sulfato pode provocar incrustações nas caldeiras e trocadores de calor. E na rede de esgoto, em trechos de baixa declividade onde ocorre o depósito da matéria orgânica, o sulfato pode ser transformado em sulfeto, ocorrendo à exalação do gás sulfídrico, que resulta em problemas de corrosão em coletores de esgoto de concreto e odor, além de ser tóxico.

Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto. As principais fontes antrópicas de sulfato nas águas superficiais são as descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. Nas águas tratadas é proveniente do uso de coagulantes.

Para remoção dos sulfatos da água usam-se operações de abrandamento, desmineralização ou evaporação. Sendo assim, os sulfatos, assim como os cloretos, podem ser removidos por troca iônica, osmose inversa, destilação e eletrodialise (Brasil, 2007).

A presença de sulfato na água potável pode causar sabor perceptível, cujo nível varia conforme o cátion associado. Devido aos critérios de ordem estética e organoléptica, o sulfato compõe o padrão de aceitação para consumo humano. Os limiares de sabor foram detectados para concentrações de 250 mg/L de sulfato de

sódio e 1000 mg/L de sulfato de cálcio. O Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 e WHO, 2004, estabelecem o limite referente ao sulfato de sódio, ou seja, 250 mg/L. A concentração de sulfato numa amostra de água pode ser determinada por métodos instrumentais tais como, turbidimetria, gravimetria e cromatografia iônica (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 1995; EPA, Environmental Protection Agency, EUA).

### 3.2.8 Cloreto

O Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) é um constituinte das águas naturais e é encontrado na forma de sais de cloreto de sódio, cálcio e magnésio, em uma concentração que varia de 3 a 1.000 mg/L. Na água do mar sua concentração pode chegar a 25.000 mg/L. A presença de cloreto em águas superficiais ou subterrâneas ocorre naturalmente em água salobras ou como resultado de poluição por efluentes industriais ou domésticos, constituindo, portanto, indicador auxiliar de poluição ou contaminação.

O íon cloreto se apresenta nas águas subterrâneas, oriundo da precipitação atmosférica seguida da percolação da água através de solos e rochas. Sendo uma das espécies abundantes na água da chuva, pode também ser proveniente dos minérios sodalita e da apatita.

Nas águas superficiais são fontes importantes, as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca de 6 g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam a 15 mg/L. Como são utilizados como indicadores da contaminação por esgotos sanitários, pode-se associar a elevação do nível de cloreto em um rio com o lançamento de esgotos sanitários. Porém, o teste de coliformes fecais é mais preciso para esta função.

Diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações de cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes, etc. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da cunha salina, são encontradas águas com níveis altos de cloreto. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água.

A principal fonte de exposição humana ao cloreto é a adição de sal à comida, e a ingestão desta fonte é normalmente muito superior a da água potável. Em águas para consumo humano, a concentração de cloretos está diretamente associada à alteração de sabor e, conseqüentemente, à aceitação para consumo.

Os cloretos presentes na água que alteram sabor são, principalmente, os de sódio, potássio e cálcio, em concentrações superiores a 200 ou 300 mg/L. Embora existam populações árabes adaptadas ao consumo de águas contendo 2.000 mg/L de cloreto, essas águas são conhecidas também por seus efeitos laxativos.

O cloreto provoca sabor “salgado” na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250 mg/L. No caso do cloreto de cálcio, o sabor só é perceptível em concentrações de cloreto superior a 1.000 mg/L. No entanto, as concentrações de cloreto superiores a 250 mg/L podem dar origem a gosto detectável na água sendo este o valor máximo estabelecido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 e pela WHO, 2004. Sua quantificação numa determinada amostra pode ser realizada por volumetria ou espectrofotometria de luz visível.

Em sistemas de distribuição de água, altas concentrações de cloreto, dependendo da alcalinidade da água, podem ocasionar corrosão de metais e aumentar as concentrações destes no fornecimento da água tratada. Os Cloretos não são removidos por processos convencionais de tratamento, somente por operações de evaporação ou desmineralização da água, sendo necessários processos especiais, tais como, destilação, osmose reversa ou eletrodíálise.

### 3.2.9 Nitrogênio (Amônia, Nitrato e Nitrito)

O nitrogênio perfaz cerca de 80 por cento do ar que respiramos. Como um componente essencial das proteínas ele é encontrado nas células de todos os organismos vivos. Sendo o principal componente da atmosfera terrestre, este elemento chega ao solo através de compostos orgânicos (restos vegetais e animais) e inorgânicos.

Com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos, o nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta terrestre, sendo continuamente reciclado pelas plantas e animais, podendo o nitrogênio inorgânico ocorrer no estado livre como gás, nitrito, nitrato e amônia.

Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos e são caracterizados como macronutrientes, pois, depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o mais fértil e possibilitam



o crescimento em maior extensão dos seres vivos que os utilizam, especialmente as algas, o que é chamado de eutrofização.

As fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. A atmosfera é uma fonte importante devido aos seguintes mecanismos:

- a) Biofixação desempenhada por bactérias e algas, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas;
- b) Fixação química que depende da presença de luz e que concorre para as presenças de amônia e nitratos nas águas; e
- c) Águas pluviais que carregam partículas da atmosfera contendo nitrogênio orgânico, bem como, contribuem para a dissolução de amônia e nitratos.

Porém, os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nitrogênio orgânico nas águas superficiais devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal originadas pela hidrólise da uréia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes.

Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Também nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais associadas às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui fonte difusa de difícil caracterização.

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras chamam-se formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. Pode-se associar a idade da poluição com relação às formas de nitrogênio. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo e se prevalecer nitrito e nitrato denota que as descargas de esgotos se encontram distantes. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas.

### 3.2.9.1 Amônia

A amônia ( $\text{NH}_3$ ) apresenta-se dissolvida nas águas naturais numa concentração que pode atingir 20 mg/L. Pode ser encontrada na forma de compostos orgânicos. Sua presença numa água bruta indica poluição ambiental, podendo ser removida das águas por cloração ou desmineralização.

A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L. Além disso, como visto anteriormente, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente. Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é importante parâmetro de classificação das águas naturais e padrão de emissão de esgotos, normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas.

Pela legislação federal em vigor, o nitrogênio amoniacal é um parâmetro do padrão organoléptico de potabilidade, pois apresenta odor acentuado em pH elevado. A concentração limite de odor para amônia em pH alcalino é aproximadamente 1,5 mg/L e, WHO, 2004, propõe um limiar de sabor de 35 mg/L para o cátion amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). A amônia não tem importância direta para a saúde à estas concentrações, e nenhum valor de orientação baseada em saúde tem sido proposto.

O Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 estabelece o valor máximo permissível de 1,5 mg/L para a concentração de amônia ( $\text{NH}_3$ ). Sua quantificação numa determinada amostra pode ser realizada por espectrofotometria de luz visível ou potenciometria.

### 3.2.9.2 Nitrato

O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é encontrado naturalmente no meio ambiente sendo um importante nutriente para as plantas. Está presente em concentrações variáveis em todas as plantas e faz parte do ciclo do nitrogênio.

O nitrato pode alcançar as águas superficiais e subterrâneas em consequência do escoamento superficial de áreas agrícolas, onde ocorre o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados inorgânicos e estrumes; da erosão de depósitos naturais; da eliminação de águas residuais e da oxidação bacteriana dos resíduos nitrogenados oriundos das excreções humanas e animais, incluindo fossas

sépticas, sendo um indicativo de contaminação por efluentes domésticos.

As concentrações de nitrato nas águas superficiais podem mudar rapidamente devido ao escoamento superficial de fertilizante, absorção pelo fitoplâncton e desnitrificação por bactérias, mas as concentrações das águas subterrâneas, em geral, mostram alterações relativamente lentas. Algumas águas subterrâneas também podem ter contaminação por nitrato como consequência da lixiviação da vegetação natural.

Nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores em geral abaixo de 5 mg/L. Nitritos e amônia são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias. Pequeno teor de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente.

Os nitratos são convertidos em óxido nítrico nos tecidos orgânicos, este gás solúvel é um mediador fisiológico, ele relaxa as células musculares lisas, como aquelas existentes nos vasos sanguíneos. O efeito antianginoso é devido a dois mecanismos, os nitratos dilatam vasos colaterais que permitem maior quantidade de sangue passar pelo miocárdio, como também reduzem o trabalho cardíaco ao reduzir a tensão arterial periférica. Logo eles aumentam o suprimento de oxigênio ao coração e diminuem as suas necessidades ao mesmo tempo.

Mas ao ser ingerido em excesso pelo homem, pode causar danos à saúde devido à formação de substâncias carcinogênicas (nitrosaminas) no sistema digestivo.

O nitrato em excesso é um tóxico que causa uma doença chamada metemoglobinemia infantil, que é letal para crianças com menos de três meses de idade (síndrome dos bebês azuis). Nesta fase, as crianças possuem em seu aparelho digestivo, bactérias que reduzem o nitrato a nitrito. O nitrato quando se reduz a nitrito na corrente sanguínea compete com o oxigênio livre, tornando o sangue azul. Este se liga muito fortemente a moléculas de hemoglobina, impedindo-as de transportarem oxigênio para as células do organismo. A deficiência em oxigênio leva a danos neurológicos permanentes, dificuldade de respiração (falta de ar) e em casos mais sérios à morte por asfixia. Aos seis meses de idade a concentração de ácido hidrocloreto aumenta no estômago, matando as bactérias redutoras de nitrato.

Em função do explicitado anteriormente, o nitrato é um parâmetro do padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde, sendo 10

mg/L o valor máximo permitido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017. Sua quantificação numa determinada amostra pode ser realizada por espectrofotometria de luz visível ou potenciometria. A remoção do nitrato das águas pode ser realizada por troca iônica ou osmose inversa.

### 3.2.9.3 Nitrito

Os nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) são composições químicas liberadas por alguns tipos de bactérias, sal ou éster do ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ) ou ânion dele derivado. Em conjunto com os nitratos, os nitritos são também utilizados para conservar a carne, mantendo a cor e inibindo o crescimento de microrganismos, no entanto os nitritos podem formar nitrosaminas que são cancerígenas.

Como o nitrato é o estado de oxidação mais estável, o nitrito não é encontrado em concentrações significativas, exceto quando se encontra num meio redutor. Ele pode ser formado pela redução microbiana do nitrato e pela redução de nitrato ingerido. Assim como o nitrato, as principais fontes de contaminação das águas naturais superficiais e subterrâneas são o escoamento superficial de áreas agrícolas; erosão de depósitos naturais e esgotos sanitários.

O nitrito também causa metemoglobinemia infantil e também compõe o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde, sendo 1 mg/L o valor máximo permitido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017. Sua quantificação numa determinada amostra pode ser realizada por espectrofotometria de luz visível. A remoção do nitrato das águas pode ser realizada por troca iônica ou osmose inversa.

### 3.2.10 Fluoretos

Os fluoretos são compostos químicos formados pela combinação do flúor com outros elementos. O flúor é o elemento quimicamente mais reativo de todos os íons carregados negativamente apresentando grande afinidade com cátions como manganês, ferro e cálcio, característica que favorece sua fixação nos organismos vivos.

Apesar de possuir sua origem natural na dissolução de rochas podem ser encontrados em toda parte: solo, ar, água, nas plantas e na vida animal. Em geral, os minerais de flúor são pouco solúveis em água. A presença de fluoretos dissolvidos nas águas subterrâneas é possível somente sob condições físico-químicas favoráveis e quando o tempo de contato entre a rocha e a água é longo.

Com relação aos fluoretos, eles podem causar fluorose dentária e óssea. O efeito é mutagênico e acumulativo causando descalcificação óssea a partir de 3,0 mg/L. WHO, 2004, indica que os fluoretos em excesso pode causar câncer e danos renais.

Muitos poços perfurados com o objetivo de abastecimento público são condenados por possuírem quantidades de fluoretos acima de 1,5 mg/L que é o VMP definido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017. As concentrações de fluoretos presentes nestas águas variam de 2,1 a 17,6 mg/L.

A escassez de mananciais de boa qualidade para abastecimento público vem aumentando, evidenciando a necessidade de estudos para remoção de fluoreto destas águas para que estes mananciais não sejam abandonados. Entre as tecnologias mais testadas e utilizadas estão a troca iônica, utilizando alumina ativada e farinha de osso, e a osmose inversa. Também pode ser removido por precipitação com cal formando-se o fluoreto de cal em pH 11 com remoção de até 10 mg/l.

Uma concentração de flúor mínima de 0,2 mg/L é recomendada a água para consumo humano, porém esse valor mínimo depende de estudos de padrões e condições locais, tais como, incidência de deterioração de dente, dieta (níveis de consumo de açúcar) e disponibilidade e uso de serviços odontológicos na área (WHO, 2004). A legislação brasileira obriga aplicação de Flúor na água tratada para abastecimento até 1,5 mg/L para prevenir cárie dentária. Sua ação é preventivo-terapêutica, pois o flúor que interessa para fins de proteção à cárie dental não é aquele incorporado intimamente à estrutura do dente, mas sim o que é incorporado na estrutura mais superficial, sujeito à dinâmica constante de trocas minerais estabelecidas entre saliva e esmalte dentário. Sendo assim, ele não oferece resistência permanente à cárie; as pessoas, uma vez privadas da exposição do flúor, voltam a ter as mesmas chances de desenvolver cárie dental que aquelas nunca expostas.

### 3.2.11 Sílica

O termo sílica refere-se aos compostos de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), nas suas várias formas incluindo sílicas cristalinas; sílicas vítreas e sílicas amorfas. A presença de sílica na solução de alimentação tem dificultado a produção de água potável nos processos de dessalinização, isto porque a sílica é muito difícil de ser removida da corrente de alimentação e ainda mais difícil de retirá-la da superfície

das membranas.

A sílica é um constituinte presente em todas as águas naturais e é um dos compostos mais críticos para sistemas de membranas sendo um dos tipos de incrustações mais comuns. Constituindo-se assim, em um dos parâmetros de projeto mais importantes para a definição do tipo de pré-tratamento.

A presença de sílica reativa e não-reativa, bem como de silicatos na água de alimentação da osmose inversa limita a taxa de recuperação do processo. É comum ocorrer incrustações em sistemas cuja concentração de sílica na corrente do concentrado atinja a faixa de 120 a 150 mg/L.

A incrustação de sílica coloidal, muitas vezes, reduz severamente o fluxo do permeado durante o processo de osmose inversa (Ning, 2002). Segundo Sheikholeslami et al (2000), a incrustação da sílica tem sido descrita como “o maior problema sem solução” reduzindo o rendimento do equipamento de dessalinização, provocando sérios danos as membranas de osmose inversa, aumentando a energia e os custos do processo.

### 3.3 Parâmetros Microbiológicos

Os riscos à saúde impostos pelas substâncias químicas (de efeito crônico e longo prazo, por vezes não muito bem fundamentados do ponto de vista toxicológico e epidemiológico) não devem ser comparados aos riscos microbiológicos de transmissão de doenças (de efeito agudo e curto prazo, inquestionáveis e de grande impacto). Em termos gerais, guardada a importância relativa e específica de cada um, a garantia da qualidade microbiológica da água deve receber prioridade (Brasil, 2007).

A detecção e quantificação de todos os microrganismos patogênicos potencialmente presente na água é laboriosa, demanda tempo, os custos são elevados e nem sempre se obtêm resultados positivos ou que confirmem a presença do microrganismo.

Por essa razão, tradicionalmente, recorre-se à identificação de indicadores de contaminação, na interpretação de que sua presença indicaria a introdução de matéria de origem fecal (humana ou animal) na água e, portanto, o risco potencial da presença de organismos patogênicos. Um indicador “ideal” deveria preencher os seguintes requisitos:

- a) Ser de origem exclusivamente fecal;
- b) Apresentar maior resistência que os patogênicos aos efeitos adversos do meio ambiente e aos processos de tratamento;
- c) Ser removido ou inativado, por meio do tratamento da água pelos mesmos mecanismos e na mesma proporção que os patogênicos;
- d) Apresentar-se em maior número que os patogênicos;
- e) Ser de fácil identificação;
- f) Não se reproduzir no meio ambiente.

Estes requisitos são fundamentais para definir qual microrganismo é ideal para servir como indicador de qualidade da água, uma vez que a realização de análises que abrangem todos os possíveis microrganismos é técnica e economicamente inviável.

De fato, não existe um único organismo que satisfaça simultaneamente todas essas condições. Na ausência de um indicador ideal, deve-se trabalhar com o melhor indicador, ou seja, aquele que apresentar a melhor associação entre os riscos à saúde e a contaminação da água.

O resultado das análises deve demorar o mínimo possível, pois é preciso tomar medidas corretivas ou preventivas com base nesse resultado. A confirmação de contaminação após o uso da água de nada adiantará, pois a população já terá consumido da água e estará exposta aos efeitos prejudiciais. Por esse motivo é necessário à utilização de um microrganismo que garanta com segurança a qualidade da água.

Por fim, cabe destacar que o alcance e as limitações do emprego de indicadores e a necessidade de identificação de organismos patogênicos serão relativos ao rigor necessário ao estudo em questão (por exemplo, em investigações epidemiológicas).

O grau de contaminação das águas é usualmente aferido com base na densidade de organismos indicadores, no pressuposto de que há uma relação quantitativa entre estas e a presença de patogênicos.

Os indicadores de utilização tradicional e quase universal são as bactérias do grupo coliforme, classicamente definidas como:

- a) Coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) – bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35,0 \pm 0,5$  °C em 24-48 horas, podendo apresentar atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo;
- b) Coliformes termotolerantes – subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5 \pm 0,2$  °C em 24 horas; têm como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal;
- c) *Escherichia coli* – bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e o manitol, com produção de ácido e gás a  $44,5 \pm 0,2$  °C em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas  $\beta$ -galactosidase e  $\beta$ -glucoronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

As técnicas de detecção de coliformes e *Escherichia coli* são práticas e relativamente rápidas e vários são os métodos disponíveis, dentre eles, tubos múltiplos, contagem em membranas filtrantes e substratos cromogênicos (Souza e Daniel, 2008).

### 3.3.1 Coliformes totais

As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal, estão presentes no intestino humano e de animais de sangue quente e são eliminadas nas fezes em números elevados ( $10^6$  –  $10^8$ /g).

Entretanto, o grupo dos coliformes inclui bactérias não exclusivamente de origem fecal, podendo ocorrer naturalmente no solo, na água e em plantas. Além disso, principalmente em climas tropicais os coliformes apresentam capacidade de se multiplicar na água. Por isso, na avaliação da qualidade de águas naturais os coliformes totais têm valor sanitário limitado, incluindo a avaliação de fontes



individuais de abastecimento.

A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratífóide, desintéria bacilar e cólera.

Assim sendo, rigorosamente, os coliformes só se prestam como indicadores da remoção de bactérias patogênicas. Portanto, na aferição da qualidade bacteriológica da água tratada, a ausência dos coliformes totais é um indicador adequado e suficiente da eficiência do tratamento, uma vez que apresentam uma taxa de decaimento (inativação) similar ou superior à dos coliformes termotolerantes e de *E.coli* (WHO, 1995). O padrão microbiológico da água para consumo humano deve ser de total ausência de Coliformes totais em 100 ml de amostra da água na saída do tratamento (Brasil, 2005).

No que toca à avaliação da qualidade virológica e parasitológica da água tratada, torna-se necessário o emprego de indicadores complementares não biológicos, a exemplo do cloro residual e turbidez (Bastos et al., 2000).

### 3.3.2 *Escherichia coli*

O indicador mais preciso de contaminação fecal é a *E. coli*. Mesmo em mananciais bem protegidos não se pode desconsiderar a importância sanitária da detecção de *E.coli*, pois, no mínimo, indicaria a contaminação de origem animal silvestre, os quais podem ser reservatórios de agentes patogênicos ao ser humano (Lima et al., 2000).

Os coliformes fecais, mais especificamente *E. coli*, fazem parte da microbiota intestinal do homem e outros animais de sangue quente. Estes microrganismos quando detectados em uma amostra de água fornecem evidência direta de contaminação fecal recente, e por sua vez podem indicar a presença de patógenos entéricos (Pope et al, 2003). A análise da água é uma importante ferramenta utilizada por especialistas em saúde pública para a prevenção de inúmeras doenças transmitidas pela água (Pope et al, 2003 ).

Os coliformes fecais, denominação utilizada durante muitos anos, ou coliformes termotolerantes, são bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes totais, caracterizados pela presença da enzima  $\beta$ -galactosidase e pela capacidade de fermentar a lactose com produção de gás no prazo de 24 horas a 44,5°C.

*Escherichia coli* e algumas linhagens de *Klebsiella* e *Enterobacter* apresentam esta característica de termotolerância, porém, somente *E. coli* tem como habitat primário o intestino humano e de animais (CONAMA, 2005). Segundo Cerqueira e Horta (1999), *E. coli* representa percentuais em torno de 96 a 99% nas fezes humanas e de animais homeotérmicos, sendo o principal representante dos coliformes termotolerantes (fecais) (Mascarenhas; et al, 2002). Além de ser o primeiro organismo na lista das infecções urinárias, *E. coli* tem sido também isolada de outros diversos sítios do corpo humano, responsável por patologias como pneumonias, meningites e infecções intestinais. Algumas linhagens patogênicas de *E. coli*, produtoras de endotoxinas potentes, podem causar diarreias moderadas a severas, colite hemorrágica grave, e a síndrome hemolítica urêmica (SHU) em todos os grupos etários, levando o indivíduo à morte, quando o tratamento não for efetuado corretamente e em tempo hábil (Ziese et al., 1996).

A contagem de *E. coli* tem sido extensivamente utilizadas nos monitoramentos da qualidade das águas, e são considerados indicadores específicos de qualidade de água destinadas a potabilidade e balneabilidade (López-Pila e Szewzyk, 2000; Youn-Joo An et al., 2002; Alm et al., 2003; Lebaron et al., 2005). O padrão microbiológico da água para consumo humano deve ser de total ausência de *E. coli*, em 100 ml de amostra da água tratada (Brasil, 2011).

Atualmente, *E. coli* fornece a melhor indicação de bactérias fecais na contaminação da água potável. A metodologia utilizada na identificação de *E. coli* em amostra de água esta disponível a preços acessíveis, além de ser rápido, sensível, específico e de fácil realização. A recente identificação da enzima  $\beta$ -glucuronidase específica para 94 - 97% da *E. coli* tem permitido o desenvolvimento de métodos de detecção (Huang et al., 1997).

A possibilidade de detecção direta de *E. coli* levou a um ressurgimento do interesse por estas bactérias como indicadores de poluição fecal. Numerosos estudos têm demonstrado que os métodos, disponíveis para *E. coli* são mais precisos do que aqueles para coliformes termotolerantes (Feng et al., 1982; Martins et al., 1993; Huang et al., 1997).

## 4 PARÂMETROS DO PROCESSO DE OSMOSE INVERSA

O processo de osmose inversa utiliza a pressão hidráulica para produzir água dessalinizada (permeado) a partir de uma fonte hídrica de abastecimento por intermédio de uma membrana, utilizando energia elétrica em função da quantidade de sais a serem removidos. A concentração de sais na água é o parâmetro que indica a pressão necessária para que o processo ocorra (Manual de Dessalinização para Planejadores, 1972). A pressão aplicada deve superar a pressão osmótica da solução e as perdas de carga decorrente do processo, para que seja criado um fluxo de água através da membrana com baixíssima concentração de sais (permeado), e outro carreando todos os sais que foram rejeitados (concentrado) da corrente do permeado.

### 4.1 Fluxo do Permeado.

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):

$$J_p = K_a (\Delta P - \Delta \pi) \quad (1)$$

Onde:  $J_p$  é o fluxo do permeado (L/m<sup>2</sup>h),  $K_a$  é o coeficiente de permeação da água (L/m<sup>2</sup>.h.kg<sup>-1</sup>/cm<sup>2</sup>),  $\Delta P$  é o gradiente de pressão hidráulica (kg<sup>-1</sup>/cm<sup>2</sup>),  $\Delta \pi$  é o gradiente de pressão osmótica (kg<sup>-1</sup>/cm<sup>2</sup>),  $Q_p$  é a vazão do permeado e  $A$  é a área ativa da membrana (m<sup>2</sup>).

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 (kg/m<sup>2</sup> h),  $K_s$  é o coeficiente de permeação do soluto (m/s) e  $\Delta C$  é o gradiente de concentração de sais (mg/L).

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

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

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

$$\Delta C = \frac{(C_a^2 + C_c^2) - C_p^2}{2} \quad (5)$$

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

A temperatura possui grande influência nas condições de operação do processo de dessalinização, como por exemplo, a redução do fluxo do permeado em aproximadamente 10% quando ocorre uma redução da temperatura de alimentação em  $4^\circ\text{C}$  (Dow Latin América, 1996). Isto acontece devido à relação entre a temperatura e a pressão osmótica da água de alimentação, como veremos a seguir.

#### 4.2 Pressão Osmótica.

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).

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

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

(7)

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

#### 4.3 Recuperação.

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

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

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).

#### 4.4 Rejeição de Sais.

A rejeição de sais (RS) é a principal função da membrana e fornece a capacidade de rejeitar os sais dissolvidos durante a permeação da água, sendo 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 sais por membranas: dimensões do soluto, morfologia dos componentes retidos pela membrana, tamanho dos poros da membrana, propriedades químicas da água e fatores hidrodinâmicos, que determinam a tensão de arraste e as forças de cisalhamento na superfície da membrana (Schneider & Tsutiya, 2001).

A temperatura é um parâmetro que influencia as condições de operação no processo de dessalinização, interferindo na rejeição de sais pela membrana. Assim como, existem influências devido ao pH, a concentração de sais dissolvidos, a pressão de operação e recuperação do sistema de membranas.

#### 4.5 Balanço de Massa.

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<sup>3</sup>/h),  $C_a$  é a concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L),  $Q_p$  é a vazão do produto (m<sup>3</sup>/h),  $C_p$  é a concentração de sais dissolvidos na corrente de produto (mg/L),  $Q_c$  é a vazão do concentrado (m<sup>3</sup>/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:

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

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).

#### 4.6 Taxa de Passagens de Sais.

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):

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

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).

#### 4.7 Concentração de Polarização.

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, 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.

Na prática, a pressão de operação da planta de dessalinização deve superar 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. As faixas de pressão de

operação das membranas, para diferentes tipos de água estão indicadas na Tabela 2.

Tabela 2: Faixas de pressão de operação de sistemas de osmose inversa para águas com diferentes concentrações de sais dissolvidos em mg/L (Schneider e Tsutiya, 2001).

Tipo de água	TDS (mg/L)	Recuperação (%)	Pressão de operação (kgf/cm <sup>2</sup> )
Salobra	Até 10.000	Até 90	5 a 20
Marinha	> 10.000	≤ 40	50 a 70

TDS = totais de sólidos dissolvidos

#### 4.8 Potenciais de Incrustações.

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 comum na utilização do processo de dessalinização por osmose inversa, é a ocorrência de incrustações quando a qualidade da água de alimentação do sistema possui determinados constituintes físicos, químicos e biológicos.

Esses potenciais devem ser observados na fase de projeto, tomando-se as providências necessárias em relação ao pré-tratamento e usando-se a taxa de recuperação mais adequada para o equipamento de dessalinização. Caso contrário, no decorrer do tempo causarão a perda de eficiência do sistema, com redução na produção de água dessalinizada, em decorrência da redução da área de permeação das membranas, pela deposição de substâncias na sua superfície.

Por esse motivo é de suma importância calcular os índices que quantificam os potenciais de incrustação da água de alimentação para que seja projetado um pré-tratamento adequado. Um dos parâmetros de caracterização da água que influenciam no desempenho do sistema de osmose inversa, e que está diretamente relacionado à formação de incrustações na superfície das membranas, é o potencial hidrogeniônico ou pH.

Os fabricantes de membranas de osmose inversa incluem em seus programas de dimensionamento de equipamentos, rotinas de cálculo para avaliação do risco de precipitação de sais, a partir de análises da água de alimentação e de parâmetros de projeto. A seguir, apresentamos os principais índices utilizados para determinação dos potenciais de incrustação da água para sistemas de osmose inversa.

#### 4.8.1 Índice de Saturação de Langelier.

O Índice de Saturação de Langelier (ISL), também chamado de Índice de Estabilidade de Langelier, é um número usado para prever a estabilidade do carbonato de cálcio na água de alimentação, isto é, se o carbonato de cálcio irá precipitar, dissolver ou ficar em equilíbrio no sistema (Edstrom, 2003).

A avaliação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio em águas salobras com TDS 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 & Tsutiya, 2001). Os dois índices são calculados pela mesma fórmula (Equação 18), mas diferem no fator de correção da salinidade, que no ISL é baseado no TDS da solução e no S&DSI, no poder iônico da solução (Schneider & Tsutiya, 2001).

$$ISL, S\&DSI = pH_c - pH_s \quad (18)$$

Onde: ISL é o Índice de Saturação de Langelier, S&DSI é o Índice de Estabilidade de Stiff e Davis,  $pH_c$  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 pelas seguintes equações (Schneider & Tsutiya, 2001):

$$ISL: pH_s = pCa + p_{alc} + C(TDS) \quad (19)$$

$$S\&DSI: pH_s = pCa + p_{alc} + K(I) \quad (20)$$

Onde  $pCa$  e  $p_{alc}$  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 do total de sólidos dissolvidos (TDS), enquanto

que o fator de correção K é determinado a partir da força iônica I da solução. Os fatores de correção C e K podem ser obtidos a partir de gráficos (Anexo 8.1) 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 & Epstein, 1986; Ning & Netwig, 2002):

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

Onde:

$$A = \frac{(\log[TDS] - 1)}{10} \quad (22)$$

$$B = -13,12 * \log[^\circ C + 273] + 34, \quad (23)$$

$$55 \quad (24)$$

$$C = \log[Ca^{+2} \text{ como } CaCO_3] - 0, \quad (25)$$

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

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 (Mindler & Epstein, 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 & Netwig, 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, os índices ISL e S&DSI da água de alimentação devem ser negativos. O ISL e o S&DSI são usados pelos fabricantes de membranas de osmose inversa para orientar na escolha dos produtos químicos para o pré-tratamento da água de alimentação (Ning & Netwig, 2002).

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 substituída por abrandadores para reduzir a dureza (cálcio e magnésio) ou pela 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 solubilidade na corrente do concentrado e podem ser retardados pela adição de inibidores ou pela redução da recuperação do sistema.

#### 4.8.2 Índice de Densidade de Sedimentos.

Uma consideração importante no projeto e na operação de sistemas de membranas é a tendência da água de alimentação de bloquear as membranas, sendo um dos parâmetros de projeto mais importantes. O desempenho dos sistemas de membranas, custo de operação, exigências de pré-tratamento, frequência de limpezas são afetados por estes bloqueios na membrana (Taylor & Jacobs, 1996).

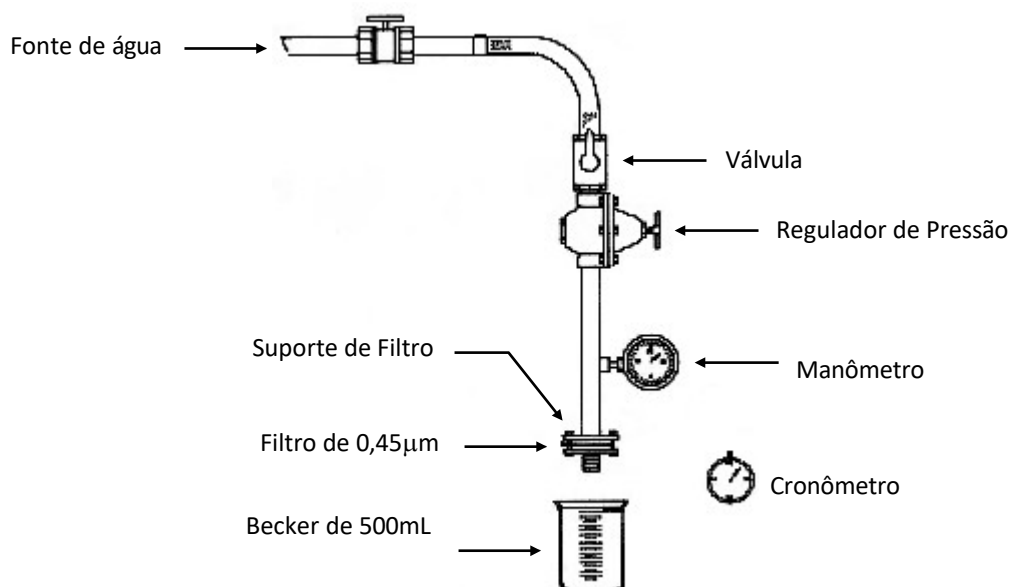
A fonte dos sedimentos ou dos colóides na água de alimentação de sistemas de OI é variada e incluem freqüentemente as bactérias, a argila, sílica coloidal, e os produtos da oxidação do ferro (FilmTec, 2008).

A tendência de obstrução dos canais das membranas pode ser avaliada em testes específicos de determinação de índices de incrustação. Os índices mais utilizados são o IDS (Índice de Densidade de Sedimentos), o IFM (Índice de Incrustação Modificado) e o MPFI (Fator Mínimo de Incrustação). Todos os três índices são medidos com o mesmo tipo de equipamento, variando apenas a coleta de dados e a sua interpretação. O equipamento básico, conforme mostra a Figura 1 consiste de um sistema de filtração pressurizada equipado com filtros de 0,45 µm de porosidade e diâmetro de 47 mm. A amostra deve ser filtrada a uma pressão de 30 psig (2,1 kgf/cm<sup>2</sup>) (Taylor & Jacobs, 1996).

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 ( $t_t$ ) varia de 5, 10 ou 15 minutos e é o 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 tempo padrão para o  $t_t$  é 15 minutos. O IDS é determinado através da Equação 26 (Taylor & Jacobs, 1996):

$$IDS = \frac{100 \left[ 1 - \left( \frac{t_i}{t_f} \right) \right]}{t_t} \quad (26)$$

O teste do IDS é um teste de bloqueio 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 & Tsutiya, 2001).



**Figura 1: Equipamento básico para medida do IDS (Amjad, 1992).**

Em geral, os sistemas de OI que operam com fontes de água de alimentação com valores do IDS menores que 1 funcionam por anos sem problemas, aqueles que operam com fontes que tem valores do IDS menores que 3 funcionam por meses sem necessidade da limpeza da membrana. Entretanto, os sistemas que operam em fontes de água com valores do IDS entre 3 e 5 são limpos regularmente e considerados sistemas problemáticos. Valores do IDS acima de 5 não são aceitáveis (Amjad, 1992).

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

#### 4.8.3 Indicadores de Incrustações de Sulfato

Para determinar o potencial de incrustação de sulfato de cálcio,  $\text{CaSO}_4$ , 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):

$$Ip_c = \left[ \left( Ca^{+2} \right)_a * \left( SO_4^{-2} \right)_a \right] * FC \quad (27)$$

$$Ks_c = \gamma_{Ca} \left[ Ca^{+2} \right] * \gamma_{SO} \left[ SO_4^{-2} \right] \quad (28)$$

4      4

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).

$$\log \gamma_{ab} = -0,509 \frac{z_a z_b}{I} \quad (29)$$

$$I = \frac{1}{\sum m_i z^2} \quad (30)$$

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  $Ip_c \geq 0,8Ks_c$ , ocorre a formação de incrustação e um ajuste é requerido.

#### 4.8.4 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 Ol 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 ser 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:

- a) Concentração de sílica (mg/L);
- b) Temperatura (°C);
- c) pH;
- d) Alcalinidade total (mg/L de CaCO<sub>3</sub>).

Essa metodologia faz uso de três figuras, que se encontram disponíveis no Anexo 8.1, 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.

$$SiO_{2c} = SiO_{2f} \cdot \left( \frac{1}{1-r} \right) \quad (31)$$

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.

$$Alc_c = Alc_f \cdot \left( \frac{1}{1-r} \right) \quad (32)$$

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 -  $(S)SiO_{2Corr}$ .

$$\frac{(S)SiO_2corr}{O_2} = FC \cdot SSi \quad (33)$$

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.

## 5 QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO

O conceito de qualidade da água encontra-se relacionado às características apresentadas pela água, por sua vez determinadas pelas substâncias (parâmetros) nela presentes. A água apresenta elevada capacidade de dissolução e transporte e, em seu percurso, superficial ou subterrâneo, pode incorporar um grande número de substâncias.

Entretanto, por processos naturais ou decorrentes das atividades antrópicas, podem ser incorporadas à água substâncias em “excesso” ou indesejáveis, o que pode vir a comprometer determinados usos. Portanto, qualidade da água é um atributo dinâmico no tempo e no espaço e encontra-se, acima de tudo, relacionado com os usos de uma determinada fonte.

De forma análoga, o conceito de poluição deve ser entendido como perda de qualidade da água, ou seja, alterações em suas características que comprometam um ou mais usos do manancial. Por sua vez, contaminação é em geral entendida como um fenômeno de poluição que apresente risco à saúde.

Em linhas gerais, água potável é aquela que pode ser consumida sem riscos à saúde e sem causar rejeição ao consumo. O padrão de potabilidade da água é composto por um conjunto de características (parâmetros) que lhe confira qualidade própria para o consumo humano.

Em tese, do ponto de vista tecnológico, qualquer água pode ser tratada, porém nem sempre a custos acessíveis. Decorre daí o conceito de tratabilidade da água, relacionado à viabilidade técnico-econômica do tratamento, ou seja, de dotar a água de determinadas características que permitam ou potencializem um determinado uso.

Portanto, água potabilizável é aquela que em função de suas características *in natura* pode ser dotada de condições de potabilidade, por meio de processos de tratamento viáveis do ponto de vista técnico-econômico. Torna-se assim nítida a interdependência entre qualidade da água bruta, tratamento da água e qualidade da água tratada.

Porém, o tratamento da água, em si, não garante a manutenção da condição de potabilidade, uma vez que a qualidade da água pode deteriorar-se entre o tratamento, o armazenamento, a distribuição e o consumo. Daí a importância de um

enfoque sistêmico no controle e na vigilância da qualidade da água para consumo humano, visualizando a dinâmica da água desde o manancial até o consumo.

A Figura 2 mostra um fluxograma geral de uma planta de dessalinização onde podemos observar o fluxo da água através dos equipamentos que a compõem, bem como, a definição que permite caracterizá-la quanto à qualidade e os usos preponderantes. Para os sistemas de dessalinização instalados no semiárido brasileiro pelo PAD podemos definir os componentes de acordo com a Figura 2, em: poço tubular (fonte de água bruta), bomba submersa do poço (equipamento de captação da água bruta), reservatório de água bruta (água proveniente do poço que será a água de alimentação do sistema), filtros de cartucho e bomba dosadora de antincrustante (equipamentos de pré-tratamento), água de alimentação do dessalinizador (água pré-tratada), dessalinizador (planta de dessalinização), reservatório para o permeado (água produzida), bomba dosadora de cloro (equipamento de pós-tratamento), chafariz (equipamento de manejo da água produzida), reservatório do concentrado e cocho (equipamentos de manejo do concentrado), tanques de contenção (concentrado para o local de descarga), reservatórios de retrolavagem das membranas de osmose inversa, das soluções antincrustante e de cloro (estoque de produtos químicos e equipamentos de manejo).

Os sistemas de dessalinização encontrados em diversas localidades beneficiadas pelo PAD apresentam diferentes tipos de água onde se configuram necessidades de caracterização da qualidade para o uso a que está destinada e que podem ser definidas, de acordo com a Figura 2, como: água do poço (água bruta), água de alimentação do dessalinizador (água pré-tratada), permeado (água produzida), água para dessedentação animal (concentrado), água potável (produto tratado ou água produzida para consumo humano), conforme serão tratadas individualmente a seguir.



**Figura 2: Fluxograma do sistema de dessalinização do PAD.**

### 5.1 Fonte Hídrica: Água Bruta.

A disponibilidade dos recursos subterrâneos para determinado tipo de uso depende, fundamentalmente, da qualidade físico-química e bacteriológica da água. A metodologia do PAD em relação ao poço como manancial da água bruta é condicionante de elegibilidade para a implantação do sistema de dessalinização.

Através do estudo da qualidade da água do poço obtêm-se dados para avaliar o atendimento aos padrões exigidos pelas legislações, a viabilidade do tratamento da água do poço através de sistemas de dessalinização via osmose inversa, assim como, determinar o tipo de pré-tratamento ao qual deverá ser submetida a fim de proteger as membranas e obter um produto com as especificações de qualidade desejadas.

O projeto do equipamento de dessalinização deve, portanto, ser precedido da análise completa da água do poço. Considerando os seguintes parâmetros de caracterização da água:

- a) Cátions:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ;
- b) Ânions:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ;
- c) Colóides:  $\text{SiO}_2$  (tot), Fe (tot);

- d) Temperatura;
- e) Condutividade elétrica;
- f) pH;
- g) Sólidos totais dissolvidos (TDS);
- h) Turbidez;
- i) Alcalinidade: alcalinidade total, alcalinidade de carbonatos, dureza total;
- j) Bactérias;
- k) Outros: gosto, odor e cor.

Em sistemas de dessalinização utilizando membranas para produção de água para consumo humano a partir de águas subterrâneas salobras e salinas, a qualidade da água de alimentação assume um papel muito importante no projeto dos equipamentos sendo fator determinante para:

- a) Seleção do tipo de membrana que será utilizada;
- b) Previsão de problemas devido à incrustação de sais e crescimento de filme biológico na superfície das membranas;
- c) Projeção da qualidade da água que será produzida.

A Tabela 3 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.

Com relação à previsão de problemas, as operações com membranas requerem o pré-tratamento da água bruta que tem por objetivo evitar que os canais de fluxo das membranas sejam obstruídos com a deposição de materiais suspensos e coloides. Estes materiais devem ser barrados no pré-tratamento, e não dentro das membranas, para evitar a precipitação de sais na superfície, a proliferação biológica

criando biofilmes que dificultam o processo de produção de permeado (aumentando o consumo energético) e que, ao final, contribuirão para formação de incrustações, de maneira geral.

Tabela 3: Recomendações do tipo de membrana em função da concentração de sais na alimentação e da qualidade do permeado (Fonte: Adaptado de Filmtec, 2008).

Tipo de membrana	TDS da alimentação (ppm)	TDS do permeado (ppm)
TW	< 5000	< 50
XLE, LE	< 1000	< 50
BW, FR	< 5000	< 50
SW	3000 a 15000	< 150
SWHR, SWHR LE	10000 a 50000	< 500
NF	< 1000	< 150

TDS = total de sólidos dissolvidos; ppm = partes por milhão; 1 ppm = 1 mg/L.

A seleção do pré-tratamento apropriado deve priorizar o aumento da eficiência e da vida útil da membrana, retendo os sólidos suspensos na água de alimentação e evitando a precipitação de sais solúveis na superfície da membrana. O resultado será a otimização do fluxo do permeado, rejeição de sais, recuperação do produto e custo de operação (FilmTec, 2008).

Um pré-tratamento inadequado resulta em frequentes limpezas dos elementos de membranas 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, lembrando ainda, que a limpeza química é sempre uma agressão às membranas.

Uma fonte de água é considerada boa quando o índice de densidade de sedimentos (IDS) é baixo (tipicamente < 2) e possui uma baixa contagem de bactérias. Estas águas requerem tipicamente um sistema de pré-tratamento simples como a adição de um inibidor de incrustação e filtros de cartucho de 5 µm, como 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 sequência de pré-tratamento, sendo que a primeira etapa do pré-tratamento é para o controle de incrustações nas membranas.

Tal como acontece com todas as reservas de água potável, a produção de água potável dessalinizada deve se esforçar para utilizar a melhor água de fonte disponível. A fonte deverá situar-se longe de emissários de esgoto, bueiros e áreas com algas prejudiciais recorrentes. O monitoramento adequado dos parâmetros biológicos e físico-químicos da água da fonte durante a operação da planta irá garantir que o processo de tratamento não estará vulnerável para contaminação por poluentes.

## 5.2 Pré-tratamento: Água de Alimentação.

A água bruta deve ser tratada a partir da fonte hídrica para produzir a corrente de água que irá alimentar o equipamento de dessalinização, também denominada de água de alimentação.

Os tratamentos indicados durante esta etapa são: tratamentos mecânicos para remoção de sólidos em suspensão, óxidos de metais (ferro e manganês), sílica particulada, etc.; e tratamentos químicos para evitar precipitação de substâncias na superfície das membranas assegurando um desempenho mais eficaz e menos problemático da planta de dessalinização.

A formação indesejável de depósitos nas superfícies de membranas ocorre quando os sólidos que devem ser retidos no pré-tratamento, não são arrastados pela corrente do concentrado. Em consequência, os sais dissolvidos, os sólidos suspensos e os microorganismos acumulam na superfície da membrana, diminuindo o seu desempenho.

Estes depósitos podem ser classificados em quatro categorias: depósitos inorgânicos, depósito coloidal, sólidos em suspensão e material biológico (Amjad, 1992). Os depósitos inorgânicos são originados de sais normalmente solúveis na água que precipitam e cristalizam na superfície e dentro dos poros das membranas (Gwon et al., 2003). Isso é facilmente entendido quando verificamos que na área externa (saída do concentrado) próxima à membrana, a concentração de sais é bem superior à concentração de sal na água de alimentação, podendo ultrapassar o limite de solubilidade com a consequente precipitação desses sais (Sousa, 2003; Ghafour, 2002). O depósito coloidal pode ser de origem inorgânica ou orgânica, e tendem a se aglomerar na entrada (face anterior) da membrana, notadamente nas primeiras membranas. Os sólidos em suspensão são partículas maiores de origens diversas e que também possuem tendência a se depositar nos canais de fluxo da membrana, gerando perdas de carga e facilitando posteriores incrustações. O depósito orgânico

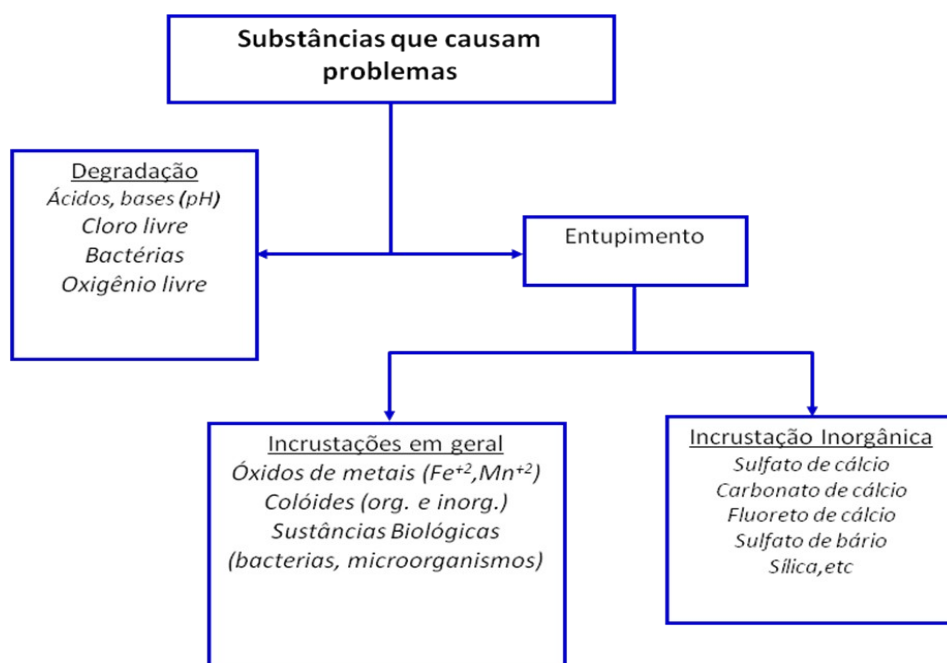


de origem biológica é constituído por fungos e bactérias e apresenta maiores problemas porque estão presentes em praticamente todas as águas e normalmente se multiplicam em determinadas condições (Sousa, 2003).

O acumulo destes depósitos na superfície das membranas de osmose inversa geram as indesejáveis incrustações que causam problemas na operação do equipamento de dessalinização. A Figura 3 destaca as substâncias e o tipo de problema que geram para as membranas de osmose inversa.

### 5.2.1 Incrustação Inorgânica

Todo projeto de dessalinização por Osmose Inversa deve ser precedido de um estudo dos componentes da água de alimentação que podem precipitar na superfície da membrana. A forma mais eficaz, para evitar a precipitação de sais, é a operação da membrana dentro dos limites indicados nos Boletins Técnicos dos fabricantes, que impedem que as concentrações de sais dissolvidos atinjam valores próximos aos limites de solubilidade.



**Figura 3: Substâncias que causam danos as membranas (Rautenbach e Albrecht, 1989).**

Os sais dissolvidos mais comumente encontrados nas águas subterrâneas do semiárido brasileiro são  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$  e a sílica. Outros sais que geram problema potencial de incrustação são  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaSO}_4$  e  $\text{SrSO}_4$ . Os componentes que oferecem maior risco para a formação de precipitados na superfície de membranas estão indicados na Tabela 4. Mas na prática, os compostos mais críticos para membranas são: sílica, sulfato de cálcio, sulfato de estrôncio e sulfato de bário. O

pré-tratamento adotado para cada tipo de componente da água de alimentação depende do tipo de controle aplicado para evitar a precipitação de sais.

As incrustações por carbonatos relacionam-se com a dureza da água subterrânea. Nesse caso, o equilíbrio da solução contendo os cátions cálcio e magnésio, e os ânions correspondentes, são perturbados resultando daí carbonatos e por vezes sulfatos que se constituem nos sais mais insolúveis que podem causar problemas em equipamentos de dessalinização por osmose inversa através de incrustações na superfície das membranas. Para as águas dos poços que apresentarem potenciais de incrustação por carbonatos, recomenda-se o pré-tratamento químico da água com adição de inibidores de incrustação a base de ácidos orgânicos policarboxílicos, sendo estes os mais indicados em se tratando de sistemas de dessalinização para produção de água para consumo humano.

Tabela 4: Compostos que oferecem risco para a formação de precipitados na superfície de membranas de osmose inversa (Schneider & Tsutiya, 2001).

Composto	Tipo de precipitado	Comentário	Controle
Cálcio	Carbonatos, fluoretos, sulfatos e hidróxidos	Principal fator limitante do rendimento de sistema de Osmose Inversa, junto com sílica.	Remoção por pré-tratamento ou controle através de inibidores de cristalização
Magnésio	Silicatos, carbonatos e hidróxidos		
Estrôncio	Carbonatos, sulfatos		
Bário	Carbonatos, sulfatos		
Alumínio	Hidróxidos		
Manganês	Hidróxidos e óxidos		
Ferro	Hidróxidos e óxidos		
Sílica	SiO <sub>2</sub> supersaturado polimeriza e pode formar um gel na superfície da membrana. SiO <sub>2</sub> polimerizado na solução pode formar colóides.	Concentração máxima permissível: 150 mg/L. Junto com cálcio, um dos principais fatores que limitam o rendimento de sistema de OI.	Remoção por pré-tratamento. A remoção de precipitados de sílica é difícil e depende do emprego de produtos altamente tóxicos.
Bicarbonato	Carbonatos	Pode ser convertido em carbonatos se o pH subir muito durante o processo	Controle do pH para evitar formação de carbonatos
Carbonato	Sais insolúveis com metais		Controle do pH
Hidróxido	Sais insolúveis com metais		Controle do pH
Fosfato	Sais insolúveis com metais		Remoção de cátions por pré-tratamento
Sulfato	Sais insolúveis com metais		Remoção de cátions por pré-tratamento
Gás sulfídrico	Grânulos de enxofre	Pode ser convertido em enxofre em muitos sistemas aquáticos	Oxidação na etapa de pré-tratamento

As águas subterrâneas que apresentarem elevados teores de ferro ( $> 0,1$  mg/L) devem ser submetidas a um 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 e as vezes, também em um 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.

Devido à difícil remoção por pré-tratamento, as águas com potencial de incrustações de sílica, além de um pré-tratamento adequado com dosagem de um antincrustante para sílica (ex: Flocon 260) devem-se projetar e escolher equipamentos de dessalinização que operem com baixas recuperações com o objetivo de proteger as membranas de osmose inversa.

A adição de inibidores de incrustação deve ser realizada com produtos específicos para membranas de osmose inversa e compatíveis com o tipo de membrana, seguindo as orientações do fabricante das membranas e do fabricante do antincrustante com relação ao tipo e a dosagem, sempre evitando desperdícios (super dosagem). A Tabela 5 relaciona alguns dos antincrustantes mais usados no pré-tratamento de sistemas com membranas de osmose inversa.

Tabela 5: Antincrustantes compatíveis com membranas de osmose inversa (FilmTec, 2008).

Antincrustantes	Fornecedor	Concentração Mínima
AF 100 BF	Goodrich	-
ARRO-TREAT 1100	Arrowhead	5 %
ARRO-TREAT 1200	Arrowhead	0.5 %
ARRO-TREAT 1300	Arrowhead	5 %
Betz 602 (15 ppm max)	Betz	0.75 %
Betz 606 (36 ppm max)	Betz	10 %
COATEX EM201ASP (20 ppm max)	Coatex	15 %
D8062 (20 ppm max)	Grace Dearborn	50 %
Dearborn 8563	Grace Dearborn	-
Dequest 2054	Monsanto	-
Drew 11-428 (36 ppm max)	Drew	10 %
Drewsperser 770	Drew	10 %
Ecolosperser	Ecolochem	10 %
EL 4010	Calgon	-

Flocon 100	FMC	-
Flocon 200 (20 ppm max)	FMC	5 %
Flocon 360	FMC	-
Flomate 5405	Grace Dearborn	10 %
Flomate 5406 (36 ppm max)	Grace Dearborn	10 %
HYPER-Sperse	Argo Scientific	-
IPC 5986	Chemlink	10 %
Kemazur 2120	Degremont	10 %
N-7306	Nalco	25 %
NALCO 2843	Nalco	10 %
Permatreat 471	Houseman	10 %
Permatreat 475 (36 ppm max)	Houseman	10 %
POLYACRYL PT115A (20 ppm max)	Polyacryl	15 %
Pretreat 110 (20 ppm max)	King-Lee	1 %
Pretreat Plus	King-Lee	-
Sludgex 693 (36 ppm max)	Maxwell Chemicals	10 %
Sodiumhexametaphosphate (SHMP)	-	-
SP-2946	Petrolite Ltd.	10 %
SP-2948 (36 ppm max)	Petrolite Ltd.	10 %

### 5.2.2 Incrustação Microbiológica.

Esse tipo de incrustação é o resultado da interação complexa entre o material da membrana, os parâmetros do processo (tais como substâncias dissolvidas, velocidade de alimentação, pressão, etc.), e os micro-organismos. O “Biofouling” ou incrustação microbiológica é basicamente um problema de crescimento do biofilme na superfície da membrana (Amjad, 1992).

Quando substâncias coloidais e microorganismos entram no módulo de osmose inversa e são transportados ao longo dos canais da membrana, estes são adsorvidos formando uma fina camada sobre a superfície da 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 (Mallevialle et. al., 1996).

A ocorrência de biofilme é detectada pela contínua redução do fluxo através das membranas ou pelo aumento da pressão de operação, necessária para manter uma determinada vazão de permeado. Em casos extremos, o biofilme pode causar o colapso telescópico de elementos de membranas em espirais pelo deslocamento lateral de canais adjacentes.

As bactérias geralmente predominam nos biofilmes de membranas, se alojando nos canais e superfície das membranas. Os fungos são os principais causadores da degradação das colas utilizadas para a vedação dos canais do permeado em elementos espirais utilizados na OI (Schneider & Tsutiya, 2001).

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).

Porém, em poços que estão desprotegidos, haverá uma probabilidade maior da ocorrência de microorganismos e matéria orgânica na água, principalmente se houver atividades antropogênicas nas proximidades. Geralmente essas águas subterrâneas apresentarão teores de amônia, nitrito e nitrato fora dos padrões.

Geralmente, os teores nitratos nas águas subterrâneas ocorrem abaixo de 5 mg/L. Os nitritos e a amônia são geralmente ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias. A presença de nitrito e amônia é sinal de

poluição orgânica recente. A alta concentração de nitratos e a presença de nitritos são evidências de contaminação por matéria orgânica devido a atividades antrópicas nas proximidades do poço ou devido a péssimas condições de conservação dos poços, muitos encontrados abertos e sem proteção.

O nitrato pode alcançar as águas superficiais e subterrâneas em consequência do escoamento superficial de áreas agrícolas, onde ocorre o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados inorgânicos e estrumes; da erosão de depósitos naturais, como por exemplo, a dissolução de rochas; da eliminação de águas residuais e da oxidação bacteriana dos resíduos nitrogenados oriundos das excreções humanas e animais, incluindo fossas sépticas, sendo um indicativo de contaminação por efluentes domésticos.

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.

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 orgânicos 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).

O pré-tratamento para redução de incrustações microbiológicas consiste na adição de biocidas ou aplicações (dosagens) intermitentes de biocidas em pequenas quantidades, na água de alimentação. 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 Ol, 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).

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 de pré-tratamentos eficientes para a água de alimentação;
- b) Seleção de membranas apropriadas ao sistema;
- c) Pressão de filtração e recuperação ajustadas 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) Procedimentos de limpeza química para remoção do biofilme de membrana.

O pré-tratamento da água de alimentação do dessalinizador, seja por meio de 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).

### 5.3 Pós-tratamento: Água Dessalinizada.

Com relação à dessalinização de águas subterrâneas salobras, o processo de osmose inversa, é uma excelente alternativa de abastecimento para o consumo

humano, em função dos resultados bacteriológicos e físico-químicos se apresentarem dentro dos padrões de potabilidade compatíveis com as normas nacionais (Ferreira, 2008).

Porém para manter a qualidade da água dessalinizada é necessário optar por medidas que estabilizem o produto final que podem ser adotadas como pós-tratamento do sistema de dessalinização, tais como:

- a) Manter a desinfecção final após dessalinização para garantir a inativação de bactérias e vírus que possam ter chegado ao produto final em função de imperfeições ou problemas na integridade das membranas.
- b) Em alguns casos pode-se fazer uso da água do poço para remineralizar a água para consumo humano através da mistura. Nestes casos, a água utilizada deve ser tratada para alcançar as metas de qualidade microbiológica, definida com base na contaminação de água bruta e redução do risco. Uma água contaminada não deve ser misturada com água dessalinizada. É recomendável, neste tipo de aplicação, usar uma membrana de ultrafiltração como tratamento da água a ser misturada com o permeado.
- c) A manutenção de um residual desinfetante durante o armazenamento e a distribuição é importante para assegurar a da qualidade da água para o consumidor. A água dessalinizada é muito pobre em nutrientes e possui um baixo potencial de crescimento microbiológico. No entanto, em altas temperaturas (30 a 45 °C) que são freqüentes em alguns países, podem favorecer o crescimento de patógenos como *Legionella*; e também a nitrificação, quando cloraminas são usadas no processo de desinfecção.
- d) Ajuste do pH da água produzida para consumo humano quando necessário. Geralmente, a água dessalinizada possui tendência a apresentar um pH ácido devido a remoção de sais que contribuem para alcalinidade do meio. Em alguns casos, é necessário a adição de produtos para elevar o pH, como por exemplo, hidróxido de sódio.



O pós-tratamento consiste em estabilizar a água e prepará-la para distribuição. O processo de dessalinização representa uma barreira efetiva para organismos patogênicos. Mesmo assim a desinfecção é feita para assegurar um suprimento seguro de água.

A desinfecção da água pode ser feita por uma grande variedade de produtos, dentre os quais pode-se citar: ozônio; peróxido de hidrogênio; permanganato de potássio; ultravioleta; cloro e seus componentes. Pela sua eficiência e custo, o cloro e seus componentes são os mais usados.

Os equipamentos usados são cloradores, no caso de cloro gás, as bombas dosadoras, e DNC (dosador de nível constante), para os hipocloritos. Por ser um forte agente oxidante, o cloro funciona através da oxidação de moléculas orgânicas.

O cloro e seu produto de hidrólise, o ácido hipocloroso, têm carga neutra e, por conseguinte, penetram facilmente a superfície de carga negativa de agentes patogênicos sendo capaz de desintegrar os lipídeos que compõem a parede celular reagindo com enzimas e proteínas intracelulares, tornando-os não funcionais. Os microrganismos então morrem ou são impossibilitados de se multiplicar (Kleijnen, 2011).

Segundo o Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, Capítulo V, artigo 34:

“Art. 34. É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).”

Desta forma em atendimento ao Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, o Programa Água Doce introduziu o pós-tratamento aos sistemas de dessalinização com cloro orgânico, para consumo humano, através de bomba dosadora para injeção do cloro no reservatório do permeado, de forma que não retorne para as membranas do dessalinizador, que sofrem degradação na presença do mesmo.

#### 5.4 Chafariz: Água para Consumo Humano.

A qualidade da água dessalinizada para consumo humano deve atender a fatores estéticos, de estabilidade e nutricionais, bem como, estar dentro dos padrões

aplicados pela legislação brasileira e internacional.

Os aspectos estéticos não estão relacionados diretamente a saúde, mas afetam o paladar e a aceitação para consumo humano, afetando indiretamente a saúde, sendo quantificados pelos parâmetros cor, odor, gosto, turbidez, total de sólidos dissolvidos e demais parâmetros que compõe o padrão organoléptico para consumo humano.

A estabilidade da água dessalinizada nos sistemas convencionais está relacionada ao controle de incrustações, corrosão e crescimento microbiológico. Possuem impactos econômicos que se refletem na distribuição, armazenamento e na qualidade do produto. Porém nos sistemas de dessalinização do PAD, somente o controle do crescimento microbiológico é necessário e praticado na água produzida para consumo humano.

Os fatores nutricionais estão baseados na questão legítima de que um balanço mineral equilibrado é desejável na água para consumo humano a fim de garantir a qualidade da água e benefícios para saúde da população. Porém essa questão se depara com a ausência de padrões e limites que estabeleçam essa qualidade nutricional. Existe um consenso com relação à importância do consumo de alguns elementos como cálcio, magnésio, traços de alguns metais e o flúor. Mas essa questão teria que ser abordada de forma diferente em ambientes diferentes, em função de aspectos de hábitos alimentares, sociais e políticos.

Os efeitos potenciais de uma água com baixo teor de sais nunca foram considerados, desde que esta água não é encontrada na natureza, exceto possivelmente para água da chuva e o gelo formado naturalmente. Embora a água da chuva e do gelo não é usualmente utilizada como fonte de água potável, ela é utilizada em algumas situações.

Além disso, muitas águas naturais são pobres em determinados minerais, como cálcio e magnésio, classificados como brandas (baixo teor de íons divalentes) e águas com alto teor desses elementos (águas duras) muitas vezes são abrandadas por tratamentos, como por exemplo, a osmose inversa.

Uma revisão realizada pela Organização Mundial de Saúde aponta diversos estudos que têm sido realizados para investigar quais são os efeitos adversos possíveis e os riscos para saúde devido ao consumo de água com baixo teor de sais, considerando os efeitos sobre a mucosa intestinal, homeostase mineral e metabolismo ou outras funções do corpo. As seguintes situações foram relatadas

(WHO, 2005):

- a) Baixa ingestão de cálcio e magnésio através da água com baixo teor de sais pode estar associada a um aumento da mortalidade por doenças cardiovasculares. Os efeitos adversos observados são distúrbios cardiovasculares, cansaço, fraqueza ou câimbras musculares.
- b) Baixa ingestão de outros elementos essenciais que contribuem para suplementar uma dieta carente de qualidades nutricionais minerais. No caso de deficiência no limite de um determinado elemento, a ingestão do elemento através da água potável pode desempenhar um papel de proteção pertinente. Isto porque os elementos estão normalmente presentes na água como íons livres e, portanto, são mais facilmente absorvidos em comparação com a comida, onde eles estão principalmente ligados a outras substâncias.
- c) Redução dos teores de cálcio, magnésio e outros elementos essenciais em alimentos preparados com água com baixo teor de sais. Como a maioria dos nutrientes é ingerida através dos alimentos, o uso dessa água para cozinhar e processar alimentos pode causar uma deficiência acentuada na ingestão de alguns elementos essenciais que seria muito maior do que o esperado com o uso dessa água para apenas para beber. A dieta atual de muitas pessoas geralmente não fornece todos os elementos necessários em quantidades suficientes e, portanto, qualquer fator que resulta na perda de elementos essenciais e nutrientes durante o processamento e preparação de alimentos pode ser prejudicial.
- d) Riscos de aumento da ingestão de metais tóxicos devido à atividade atribuída ao cálcio e ao magnésio de ajudar a prevenir no intestino a absorção de alguns elementos tóxicos como chumbo e cádmio para a corrente sanguínea. Embora esse efeito protetor seja limitado, a deficiência desses elementos pode aumentar as chances de efeitos

adversos em função da exposição a substâncias tóxicas.

- e) Riscos de contaminação microbiológica da água dessalinizada em função da ausência de um desinfetante residual, comparado ao tratamento convencional. Embora uma membrana de osmose inversa remova todos os microorganismos da água, ela pode não ser 100% eficaz, se apresentar defeitos, falhas ou vazamentos.

Com relação ao conteúdo mineral desejável para água potável dessalinizada foram observados efeitos adversos no organismo, tais como a redução de alguns sais (sódio, potássio, cloreto, cálcio e magnésio) no organismo quando se consome água potável com baixo TDS. Estes efeitos adversos que alteram o equilíbrio mineral no corpo foram observados não só na água completamente sem sais (destilada), mas também na água com TDS na faixa de 50 a 75 mg/L.

Os organismos nacionais e internacionais responsáveis pela qualidade da água potável não estabelecem limites mínimos de sais para a água dessalinizada, porém existem recomendações de diversos estudos realizados quanto à especificação do conteúdo mínimo dos elementos pertinentes tais como cálcio e magnésio e o TDS.

Com base nos dados disponíveis, vários pesquisadores têm realizado recomendações para os níveis de cálcio, magnésio e TDS na água potável que representam o mínimo e o conteúdo desejável ou ideal dessas substâncias, necessários para atender a considerações técnicas e de saúde que são (WHO, 1980):

- a) TDS mínimo de 100 mg/L na água para consumo humano.
- b) Concentração mínima de cálcio deve ser de 30 mg/L.
- c) Concentração mínima de magnésio deve ser de 10 mg/L.
- d) Concentração mínima de bicarbonato de 30 mg/L como um nível mínimo essencial necessário para atingir características organolépticas aceitáveis e uma

concentração de equilíbrio para o nível mínimo recomendado de cálcio.

- e) As concentrações de cálcio e magnésio em termos de dureza mínima para água dessalinizada de 60 mg/L (expressa em íons de cálcio ou equivalente).

#### 5.5 Cocho: Água para dessedentação Animal.

No sistema de dessalinização do Programa Água Doce, o concentrado é armazenado em um reservatório para ser utilizado ou encaminhado aos tanques de contenção. De acordo com os costumes da comunidade, o concentrado pode ser utilizado em cochos para dessedentação animal ou pela própria comunidade para uso secundário doméstico.

Quando o propósito de uso do concentrado da dessalinização nas comunidades é aliviar o problema de escassez de água para a dessedentação animal no semiárido brasileiro, a qualidade da água deve ser avaliada e monitorada.

A definição da qualidade da água para a dessedentação animal abrange fatores que podem afetar a saúde através da presença de contaminantes, o seu consumo e o de outros elementos que formam a dieta animal. Porém, essas respostas variam e dependem das especificidades metabólicas de cada espécie animal que constitui o rebanho.

Os parâmetros que afetam o consumo da água, tais como pH, salinidade, odor, sabor e alguns constituintes químicos podem interferir na palatibilidade da água. Por outro lado, muitos elementos químicos inorgânicos são nutrientes essenciais para o desempenho produtivo e a saúde do rebanho.

A excessiva salinidade na água fornecida aos ruminantes (bovino, ovino e caprino) pode causar distúrbios fisiológicos e inclusive causar a morte do animal. Os íons mais comuns que causam salinidade na água são sódio, cálcio, magnésio, sulfato, bicarbonato e cloro.

Alguns elementos presentes na água também podem exercer efeitos toxicológicos, além da salinidade. Daí a necessidade de que sejam observados seus limites. No caso do magnésio, o limite deste elemento na água para dessedentação animal não deve ultrapassar os valores estabelecidos na Tabela 6 (Pallas, 1986).

Tabela 6: Níveis máximos de magnésio permitidos na água usada para dessedentação animal.

<b>Espécie animal</b>	<b>Limite (mg/L)</b>
Bovino em lactação	250
Bovino em crescimento	400
Caprino e ovino	500

O anexo I da resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, apresenta uma lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência e seus respectivos valores máximos permitidos (VPM) para dessedentação de animais.

Em estudo recente, Porto elaborou a Tabela 7 através de uma ampla revisão bibliográfica, avaliando as informações mais atuais produzidas pelas instituições nacionais e internacionais, incluindo as resoluções 357 e 396 do CONAMA, onde estabelece limites máximos de salinidade para cada uma das principais espécies de ruminantes que fazem parte do rebanho encontrado na maioria das pequenas propriedades rurais do semiárido (Porto, 2016).

Tabela 7: Valores de referência para alguns parâmetros, elementos e compostos químicos na água disponibilizada para ruminantes (Porto, 2016).

<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Bovino</b>	<b>Ovino</b>	<b>Caprino</b>
pH	-	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0
Dureza (CaCO <sub>3</sub> ) (igual/menor)	mg/L	500	500	500
Sódio <b>(igual/maior)</b>	<b>mg/L/dia</b>	6.700	10.000	10.000
Cloretos (igual/menor)	mg/l	4.000	2.400	5.600
Cálcio (igual/menor)	mg/l	1.000	1.000	1.000
Nitrato (igual/menor)	mg/l	400	400	400
Nitrito (igual/menor)	mg/l	30	30	30
Sulfato (igual/menor)	mg/l	1.000	1.000	1.000

## **6 MONITORAMENTO EM SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DO PROGRAMA ÁGUA DOCE**

O monitoramento é uma etapa fundamental para a avaliação dos sistemas de dessalinização e verificação de possíveis falhas no funcionamento para que medidas corretivas sejam realizadas a contento. Essa avaliação é realizada através da interpretação dos laudos das análises de água e das variáveis de operação do equipamento.

### **6.1 Monitoramento da Qualidade das Águas.**

O monitoramento da qualidade das águas é realizado através de análises físico-químicas e microbiológicas da alimentação (água do poço), permeado e concentrado realizadas por laboratórios especializados. A Tabela 8 mostra os principais parâmetros físico-químicos a serem analisados nas amostras de águas nos sistemas de dessalinização do PAD.

Nesse sentido, o monitoramento da qualidade das águas tem por objetivo fornecer subsídios para o desenvolvimento dos seguintes estudos:

- a) Estudo da viabilidade para determinado uso, através da interpretação de laudos de análises de água;
- b) Estudo da consistência de resultados de análises laboratoriais.

A interpretação de laudos de análise de águas é a verificação do atendimento aos padrões exigidos pelas legislações. Apesar de algumas legislações exigirem frequências mínimas de amostragem e impor limites para os diversos constituintes das águas naturais ou tratadas, esta tarefa de apenas comparar valores numéricos é bastante simples, bastando apenas o cuidado adicional de verificar as unidades em que foram medidos os diversos constituintes.

A análise físico-química solicitada pelo PAD apresenta parâmetros que são necessários para projetar o dessalinizador e nem todos são necessariamente os parâmetros de potabilidade que são definidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017.

Tabela 8: Parâmetros físico-químicos a serem analisados.

<b>Parâmetros</b>	<b>VMP (*)</b>
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25°C	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	6,5 a 8,5
Turbidez, (uT)	1,0 a 5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)	15,0
Cálcio, mg/L $\text{Ca}^{++}$	---
Magnésio, mg/L $\text{Mg}^{++}$	---
Dureza Total, mg/L $\text{CaCO}_3$	500,0
Sódio, mg/L $\text{Na}^+$	200,0
Potássio, mg/L $\text{K}^+$	---
Ferro Total, mg/L	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L $\text{CaCO}_3$	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L $\text{CaCO}_3$	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L $\text{CaCO}_3$	---
Alcalinidade Total, mg/L $\text{CaCO}_3$	---
Sulfato, mg/L $\text{SO}_4^{--}$	250,0
Cloreto, mg/L $\text{Cl}^-$	250,0
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	10,0
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	1,0
Sílica, mg/L $\text{SiO}_2$	---
Total de Sólidos Dissolvidos Secos a 180°C, mg/L	1.000,0

(\*) VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira - Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017.

Para a análise da consistência de resultados de análises laboratoriais é necessário observar a coerência entre os valores numéricos dos resultados das análises emitidas em laudos a partir das correlações existentes entre parâmetros, como por exemplo:

- a) A condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos totais: Devido a relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a



condutividade elétrica, não é possível ter-se alta concentração de sólidos dissolvidos totais e condutividade baixa e vice-versa;

b) Sólidos totais = sólidos fixos + sólidos voláteis;

c) Sólidos totais = sólidos em suspensão + sólidos dissolvidos;

d) Sólidos em suspensão totais = sólidos em suspensão fixos + sólidos em suspensão voláteis;

e) Sólidos dissolvidos totais = sólidos dissolvidos fixos + sólidos dissolvidos voláteis;

f) Sólidos em suspensão e turbidez: Como a turbidez é causada por sólidos em suspensão, não é possível ter-se alta concentração de sólidos em suspensão e turbidez baixa e vice-versa;

g) Sólidos em suspensão e sólidos sedimentáveis: Como os sólidos sedimentáveis correspondem à parte dos sólidos em suspensão, não é possível ter-se altas concentrações de sólidos sedimentáveis e baixas concentrações de sólidos em suspensão;

h) Sólidos dissolvidos e cor verdadeira: Como a cor verdadeira é causada por sólidos dissolvidos, não é possível ter-se cor verdadeira elevada e baixa concentração de sólidos dissolvidos/

i) Ferro, manganês e cor: Como ferro e manganês dissolvidos na água desenvolvem cor, não é possível ter-se concentrações elevadas de ferro ou manganês e baixos valores de cor;

j) pH e acidez: Não existe acidez em amostra com pH acima de 8,3;

k) pH e alcalinidade: Não existe alcalinidade em amostras com pH abaixo de 4,5.

l) Alcalinidade de bicarbonato não existe em uma água que contenha alcalinidade de hidróxido e vice-versa;

m) Dureza (ppm de  $\text{CaCO}_3$ ) = Cálcio (ppm de  $\text{CaCO}_3$ ) + Mg (ppm de  $\text{CaCO}_3$ );

n) Alcalinidade e dureza: A alcalinidade de bicarbonatos é proporcional à dureza temporária;

o) Oliveira de Castro et al, através de um estudo de parâmetros de caracterização da água encontrou correlações positivas entre estes e os parâmetros do Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, tais como, dureza e condutividade; íons cloreto e dureza; condutividade elétrica e íons sódio; íons potássio e cálcio; e turbidez com coliformes totais e fecais.

p) Considerando a relação da dureza com cátions sódio e potássio, a solubilidade do bicarbonato de cálcio, principal responsável pela dureza, aumenta na presença de sais de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ . Então quanto maior a concentração de íons potássio maior a dureza que é um parâmetro de potabilidade definido no Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 (Oliveira de Castro et al, 2014).

## 6.2 Plano de amostragem para monitoramento da qualidade das águas nos sistemas de dessalinização do PAD.

Os pontos de coleta das amostras de água para monitoramento da qualidade das águas nos sistemas de dessalinização serão:

- a) Poço: A composição da água do poço indicará, além de sua classificação (em salobra, salina, etc.), quais serão o pré-tratamento e o tipo de membrana adequado para o sistema de dessalinização. A necessidade do monitoramento da água do poço deve-se ao fato de possíveis mudanças em algumas características que podem ocorrer com o tempo ou devido a condições externas que possam vir a contaminar a fonte de alimentação dos sistemas.
- b) Permeado: O monitoramento deve ser realizado através da torneira de coleta na saída das membranas e dos vasos de pressão. Nesse ponto será avaliada a qualidade da água dessalinizada produzida em termos nutricionais e através dos parâmetros do padrão microbiológico da água para consumo humano, do padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam riscos à saúde e do padrão organoléptico de potabilidade do Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017.
- c) Concentrado: De acordo com a destinação, a composição da água do concentrado deve ser monitorada para fins de enquadramento para

determinado uso ou descarte, segundo resoluções CONAMA nº 357/2005 e 396/2008. Esse monitoramento é importante em função da possibilidade das águas subterrâneas do semiárido sofrerem alterações entre o período chuvoso e seco. Essas alterações serão percebidas no concentrado. Por isso é necessário a realização de análises da água do concentrado pelo menos duas vezes ao ano, principalmente para as águas que são oferecidas aos animais.

- d) Chafariz: Neste ponto, além da avaliação da qualidade da água de acordo com o descrito para a água do permeado, o atendimento ao artigo 34, do Capítulo V, do Anexo XX da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, deve ser verificado através do monitoramento do cloro residual livre.

A frequência de amostragem para monitoramento da qualidade das águas nos sistemas de dessalinização será definida em:

- a) Seis amostragens para análises físico químicas em todos os pontos de coletas, segundo parâmetros constantes na Tabela 7, nos seguintes momentos: no diagnóstico técnico após a escolha da fonte hídrica; na entrega do sistema para a comunidade (marco zero); após três, seis, nove meses e um ano de operação.
- b) Quatro amostragens para análises microbiológicas em todos os pontos de coletas, nos seguintes momentos:
  - 1. No diagnóstico técnico após a escolha da fonte hídrica (poço) serão determinados os parâmetros coliformes totais e *Escherichia Coli*.
  - 2. Na entrega do sistema para a comunidade (marco zero) serão realizadas as seguintes determinações: grupo coliforme, cistos de *Giardia*, vírus e oocistos de *Cryptosporidium*.
  - 3. Após seis meses de operação, serão realizados testes presuntivos de presença/ausência de *Escherichia Coli*.
  - 4. Após um ano de operação, serão realizados testes presuntivos de presença/ausência de *Escherichia Coli*.
- c) Amostragem diária para determinação de sólidos dissolvidos totais (TDS)

e cloro residual livre (CRL) no ponto de coleta do chafariz (Anexo 8.2).

A avaliação de contaminação por *E. Coli* não se aplica mensalmente aos sistemas de dessalinização por tratar-se do processo que utiliza membranas de osmose inversa. Porém deve-se observar se existem fontes de contaminação no entorno dos poços e através da análise da água confirmar a existência de contaminantes que possam interferir no processo.

Os parâmetros de análise físico química do diagnóstico, inicialmente devem seguir um padrão básico, contudo na medida em que são observados elementos do entorno que sejam potencialmente poluidores (posto de gasolina, atividades agrícolas, saneamento in situ), deve-se incluir parâmetros específicos para avaliar e investigar a situação em que se encontra a água do poço.

Se dentro do plano de amostragem forem verificados parâmetros ou características em desacordo com o padrão de potabilidade da água ou de outros fatores de risco a saúde, recomenda-se:

- a) A ampliação do número mínimo de coletas;
- b) O aumento da frequência de amostragem;
- c) A realização de análises laboratoriais de parâmetros adicionais.

A amostragem da água para análise físico-química deve ser feita coletando-se 1,5 a 2,0 litros da água numa garrafa plástica ou de vidro, nova ou que só tenha sido utilizada com água. Lava-se o recipiente, três vezes, com a água do local que se deseja analisar, e na quarta vez enche-se. Identifica-se com dados sobre o interessado, a procedência, local da coleta, data da coleta e envia-se o mais rápido possível ao laboratório. Caso não seja possível enviar no mesmo dia, colocar sob refrigeração até o momento do envio. Deve-se ter o cuidado para que, no momento da coleta, não haja contato das mãos com a água.

É importante também observar alguns procedimentos que dependem da situação da coleta (Agrolab, 2008):

- a) Caso a água seja de poço recentemente aberto, esperar alguns dias com o mesmo em funcionamento antes de fazer a coleta da amostra, para que o mesmo elimine qualquer tipo de material em suspensão,

resultante da perfuração;

- b) No caso de poço já em funcionamento, deixar escoar a água por 2 minutos, e então fazer a coleta;
- c) Outras situações de coleta, consultar anteriormente o laboratório. Por exemplo, a amostragem para a análise físico-química incluindo metais ou para a análise bacteriológica requer procedimentos e recipientes especiais.

### 6.3 Monitoramento das variáveis de operação do equipamento.

Após a conclusão da fase de projeto e construção, inicia-se a fase operacional. Os dados de operação que descrevem o desempenho dos equipamentos devem ser coletados rotineiramente durante o período de operação. Estes dados, junto com análises de águas, fornecem subsídios necessários para a avaliação do sistema de dessalinização.

A definição dos objetivos operacionais nessa fase deve ser norteadada por duas considerações importantes (Schneider & Tsutiya, 2001):

- a) Produção de água na qualidade e nos volumes projetados;
- b) Aumento da vida útil das membranas.

O custo de reposição de membranas é uma das mais importantes frações do custo operacional, sua redução depende de medidas que permitam prolongar ao máximo a vida útil das membranas durante a operação do sistema de dessalinização. Esse objetivo será alcançado através do monitoramento da qualidade das águas (alimentação, permeado e concentrado), monitoramento dos parâmetros de operação do equipamento e planejamento adequado das medidas de intervenção (Schneider & Tsutiya, 2001).

Os parâmetros operacionais relacionados com o aumento da vida útil dos elementos de membranas do sistema e que devem ser analisados com freqüência, são (Schneider & Tsutiya, 2001; Taylor & Jacobs, 1996):

- a) Pressão de operação;
- b) Perda de carga no módulo das membranas;

- c) Fluxo de permeado e de concentrado;
- d) Condutividade elétrica ou TDS do permeado.

O conjunto destes fatores permite avaliar a perda de eficiência do dessalinizador. O aumento da pressão de operação, ou a redução do fluxo através da membrana à uma pressão constante, são indicadores claros da ocorrência de incrustações. Quando estes parâmetros atingem valores críticos, é necessário realizar um ciclo de 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 ao fluxo inicial. Um ciclo de limpeza química é desencadeado quando os seguintes parâmetros de operação apresentam (Amjad, 1993, Schneider & Tsutiya, 2001; FilmTec, 2008):

- a) Diminuição do fluxo do permeado em cerca de 10%;
- b) Aumento da passagem de sais em 5% a 10%;
- c) Aumento da pressão diferencial nos módulos das membranas em 10 a 15%.

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 registro das condições de operação do dessalinizador devem ser realizados baseados na leitura dos instrumentos de medição instalados no painel do dessalinizador. Os instrumentos mais comuns encontrados nos equipamentos são os manômetros (medidores de pressão) e os rotâmetros (medidores de vazão). Em alguns dessalinizadores, além dos manômetros e dos rotâmetros, existem outros instrumentos como o condutímetro (que indica o teor de sal na água) e o pHmetro (que indica o potencial hidrogeniônico da água).

O monitoramento das variáveis de operação do equipamento é realizado através das leituras dos instrumentos de medidas do dessalinizador e do registro das informações em planilhas de acompanhamento, conforme descrito a seguir:

- a) Leitura das pressões de entrada e saída dos filtros de cartucho;
- b) Leitura das pressões de entrada e saída das membranas;
- c) Leitura das vazões de permeado e concentrado.

É importante que se tenha um banco de dados com as informações do sistema o qual deve ser periodicamente analisado com o objetivo de detectar problemas potenciais. No Anexo 8.3 encontra-se um modelo de planilha de acompanhamento das variáveis de medidas dos dessalinizadores.

O acompanhamento da operação dos dessalinizadores também pode ser realizado através dos softwares das membranas utilizadas. A partir das análises físico-químicas de monitoramento podem ser realizadas simulações, com o objetivo de avaliar o funcionamento dos equipamentos em função das suas pressões, vazões e qualidade das águas.

## **7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGROLAB. Disponível em [www.agrolab.com.br/agua.htm#Amostragem](http://www.agrolab.com.br/agua.htm#Amostragem). Acessado em outubro/2008.

ALM, E. W., BURKE, J., SPAIN, A. Fecal indicator bacteria are abundant in wet sand at freshwater beaches. *Water Research*. v. 37, p. 3978-3982, 2003.

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

APHA/AWWA/WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20ª edição, 1998.

BASTOS, R. K. X. et al. Coliformes como indicadores da qualidade da água: alcance e limitações. In: Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária E Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre. Anais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. (CD-ROM).

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 Saúde, Padrão de Potabilidade. Brasil, Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017.

BRASIL. Conselho Nacional do meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 de março de 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Inspeção sanitária em abastecimento de água. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2007. 84 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Manual de procedimento de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. 286 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Documento Base do Programa Água Doce. 2010. Disponível no sítio eletrônico <http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce/>.

BREMERE, I. et al, Prevention of silica scale in membrane system: removal of monomer and polymer silica, Desalination, vol 132, pp 89-100, 2000.

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

CERQUEIRA, D. A. et al. Perfis de ocorrência de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* em diferentes amostras de água. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 20., Rio de Janeiro., 1999.

DANIEL, L. A. (Coord.). Métodos alternativos de desinfecção da água. São Carlos, SP, 2001. (Projeto PROSAB).

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.

EDSTROM. [http://www.edstrom.com/Resoirces.cfm?doc\\_id=161](http://www.edstrom.com/Resoirces.cfm?doc_id=161).

EL-DESSOUKY, H.T., ETTOUNEY, H.M., Fundamental of Salt Water Desalination – Elsevier, 2002, Cap.8, pp. 449.

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.

FENG, P. C. S. e HARTMAN, P. A. Fluorogenic assays for immediate confirmation of *Escherichia coli*. Appl. Environ. Microbiol, 43, 1320-1329, 1982.

FERNANDES, C. Texto organizado a partir de "notas de aula" do curso Análise de Água e de Esgotos, Departamento de Eng. Civil do CCT/UFCG, 2004.

FERREIRA, W. B. Solução Alternativa de Abastecimento de Água para Consumo Humano em Comunidades Difusas: Monitoramento e Controle de Qualidade da Água. 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.

FUNASA, Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades. Brasília, 2014.

FUNASA, Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS. Brasília, 2014.

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.

GWON, E., YU M., OH H., YLEE Y., Fouling characteristics of NF and RO operated for removal of dissolved matter from groundwater. Water Research 37: 2989-2997, 2003.

HELLER, I., PÁDUA, V.L., Abastecimento de Água para Consumo Humano. Editora UFMG, 859.p; Belo Horizonte, MG. 2006.

HUANG, S. W., et al. Comparison of the  $\beta$ -Glucuronidase Assay and the Conventional Method for Identification of *Escherichia coli* on eosin-methylene blue agar. Journal of Food Protection 60, 6-9, 1997.

KLEIJNEN, R.G.. The Chlorine Dilemma. [S.l.]: Eindhoven University of Technology, 2011. 3-49 pp.

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.

LEBARON, P., et al. An operational method for the real-time monitoring of *E. coli* numbers in bathing waters. Marine Pollution Bulletin. v.50, p. 652-659, 2005.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água; 2º edição; 443; Campinas, São Paulo, 2008.

LIMA, C. L. S.; BRAZ, V. N.; RIVERA, I. G. Pesquisa de coliformes e estreptococcus fecais em um ambiente protegido. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 4, n. 3, p. 127 -132, 2000.

LÓPEZ-PILA, J. M., SZEWZYK, R. Estimating the infection risk in recreational waters from the faecal indicator concentration and from the ratio between pathogens and indicators. Water Research. v. 34(17), p. 4195-4200, 2000.

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.

MARTINS, M. T., et al. Distribution of uidA gene sequences in *Escherichia coli* isolates in water sources and comparison with the expression of beta-glucuronidase activity in 4-methylumbelliferyl-beta-D-glucuronide media. Appl. Environ. Microbiol. v.59, Ed.7, p.2271-2276, 1993.

MASCARENHAS, A.; MARTINS, J.; NEVES, M. Avaliação de tratamento de águas superficiais efectuado na ETA de Alcantarilha com base na análise de indicadores de poluição fecal. Universidade do Algarve. Faculdade de Ciências do Mar e do

Ambiente, Faro, junho, 2002.

MEYER, B. Approaches to prevention, removal and killing of biofilms. *Internacional Biodeterioration & Biodegradation*, v. 51, p. 249-253, 2003.

MINDLER, A.B., EPSTEIN, A.C., Measurements and control in reverse osmosis desalinations. *Desalination*, vol.59, pp. 343-379, 1986.

NING, R.Y., Discussion of silica speciation, fouling, control and maximum reduction. *Desalination*, vol.151, pp. 67-73, 2002.

OLIVEIRA DE CASTRO, J. S., RESQUE JÚNIOR, B. T. B., PONTES, A. N., MORALES, G. P., "Potabilidade das águas subterrâneas para o consumo humano na área do polo industrial de Barcarena-Pará. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.10, n.19; p. 2921-2934, 2014.

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.

PALLAS, Ph. Water for animals. AGL/MISC/4/85. Land and Water Development Division. Food and Agriculture Organization of The United Nations. FAO. Rome, 1986.

PIVELI, R. P., Apostila do curso "Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos", Departamento de Eng. Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP.

POPE, M.L., et al. Assessment of the Effects of Holding Time and Temperature on *Escherichia coli* Densities in Surface Water Samples. *Appl Environ Microbiol*. October; 69(10): 6201-6207, 2003.

PORTO, E. R. Relatório técnico contendo proposta de documento com informações e análise técnica sobre o uso de águas salobras e salinas para dessedentação de bovinos, ovinos e caprinos, de acordo com o nível de salinidade e qualidade dos sais. IICA, 2016.

RICHTER, C. A. Água métodos e tecnologia de tratamento. Editora Blucher. São Paulo. 337p, 2009.

SADGIR P. e VAMANRAO A., Water in Vedic literature. In: Abstract Proceedings of the 3rd international Water History Association Conference, Alexandria, 2003.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: Hidrologia: Conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM/LABHID-UFPE, 1997.

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

SCHWARZBACH, M. S. R. & MORANDI, I. C. Avaliação da variabilidade temporal das características físico químicas das águas subterrâneas dos poços tubulares profundos do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. In: 1ST JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 2000, Fortaleza. Anais do 1st Joint World Congress on Groundwater. 2000.

SEMIAT, R., SUTZKOVER, I., HASSON,D., Technique for evaluating silica scaling and its inhibition in RO desalting, *Desalination*, vol 140, pp 181-193, 2001.

SHEIKHOESLAMI, R., ZHOU, S., Performance of RO membranes in silica bearing waters, *Desalination*, vol 132, pp 337-344, 2000.

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

SOUZA, J.B; DANIEL, L. A. Inativação dos microrganismos indicadores *Escherichia coli*, colifagos e *Clostridium perfringens* empregando ozônio. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*. v. 4, n. 2, p.265-273, Maio/Ago. 2008.

STRANTZ, J.W., Predicting CaCO<sub>3</sub> scaling in seawater RO systems. Technical Proceedings, vol 1, 10th Annual Conference and Trade Fair of the Water Supply Improvement Association, 25-29 July 1982, Hawaii, 1982.

STUMM,W., MORGAN, J. J., *Aquatic Chemistry*. Wiley-Interscience, New York,1996.

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

VAN DE LISDONK, C.A.C., VAN PAASSEN, J.A.M., SCHIPPERS, J.C., Monitoring

scaling in nanofiltration and reverse osmosis systems. *Desalination*, vol 132, pp 101-108, 2000.

VON SPERLING, M. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p240, 1995.

VOUWENVELDER, 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.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking water quality.; 3 ed.; Geneva: WHO. 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines on health aspects of water desalination. ETS/80.4. Geneva: WHO, 1980.

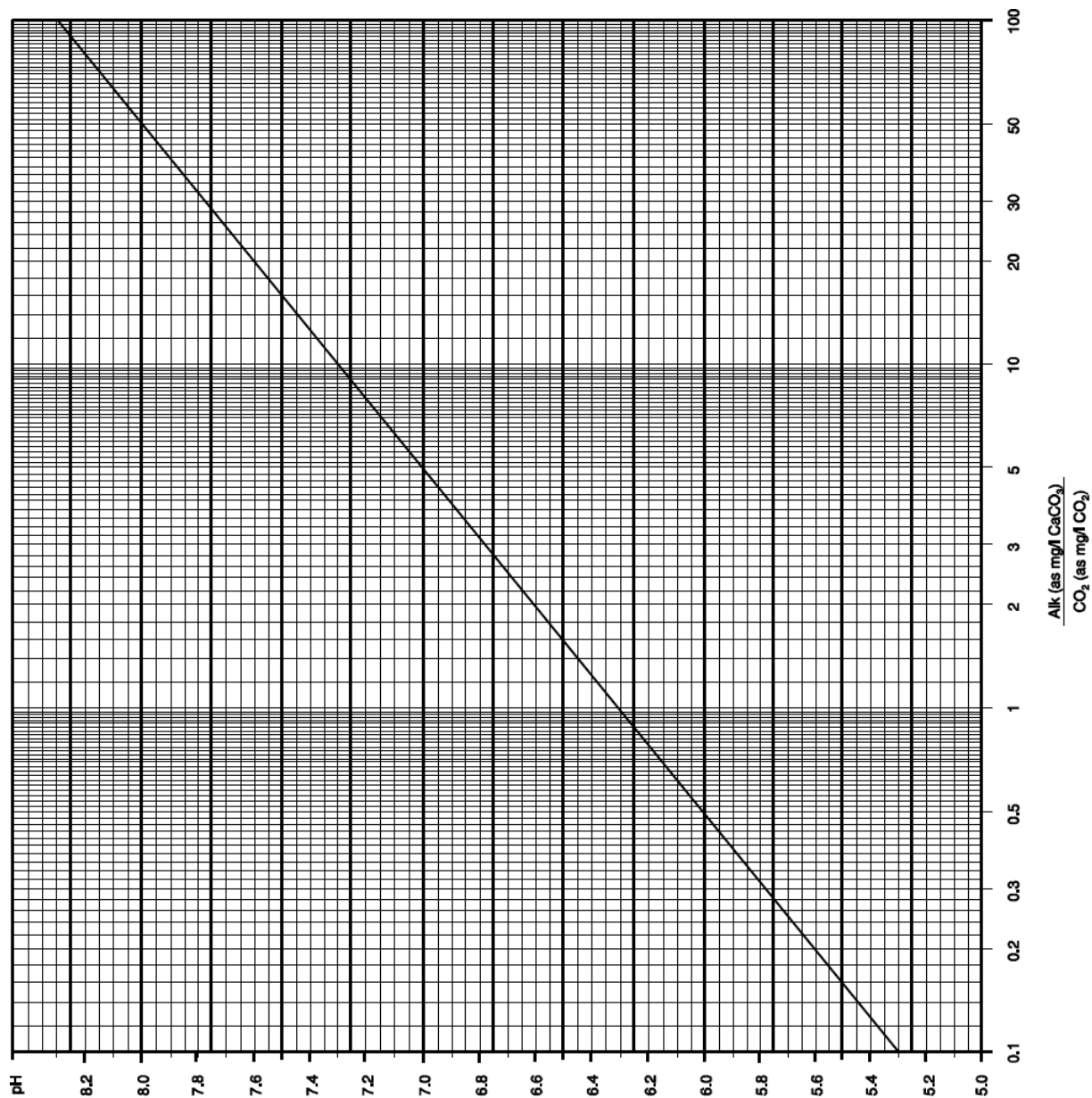
WORLD HEALTH ORGANIZATION. Nutrients in Drink Water. Geneva: WHO, 2005.

YOUN-JOO AN, KAMPBELL, D. H., BREIDENBACH, G. P. *Escherichia coli* and total coliforms in water and sediments at marinas. *Environmental Pollution*. v.120, p.771-778, 2002.

ZIESE, T., ANDERSON, Y., DE JONG, B. LÖFDAHL, S. RAMBERG, M. Surto de *Escherichia coli* O157 na Suécia. Relatórios de investigação de surtos. Vol.1, n.1, 16p, 1996.

## 8 ANEXOS

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



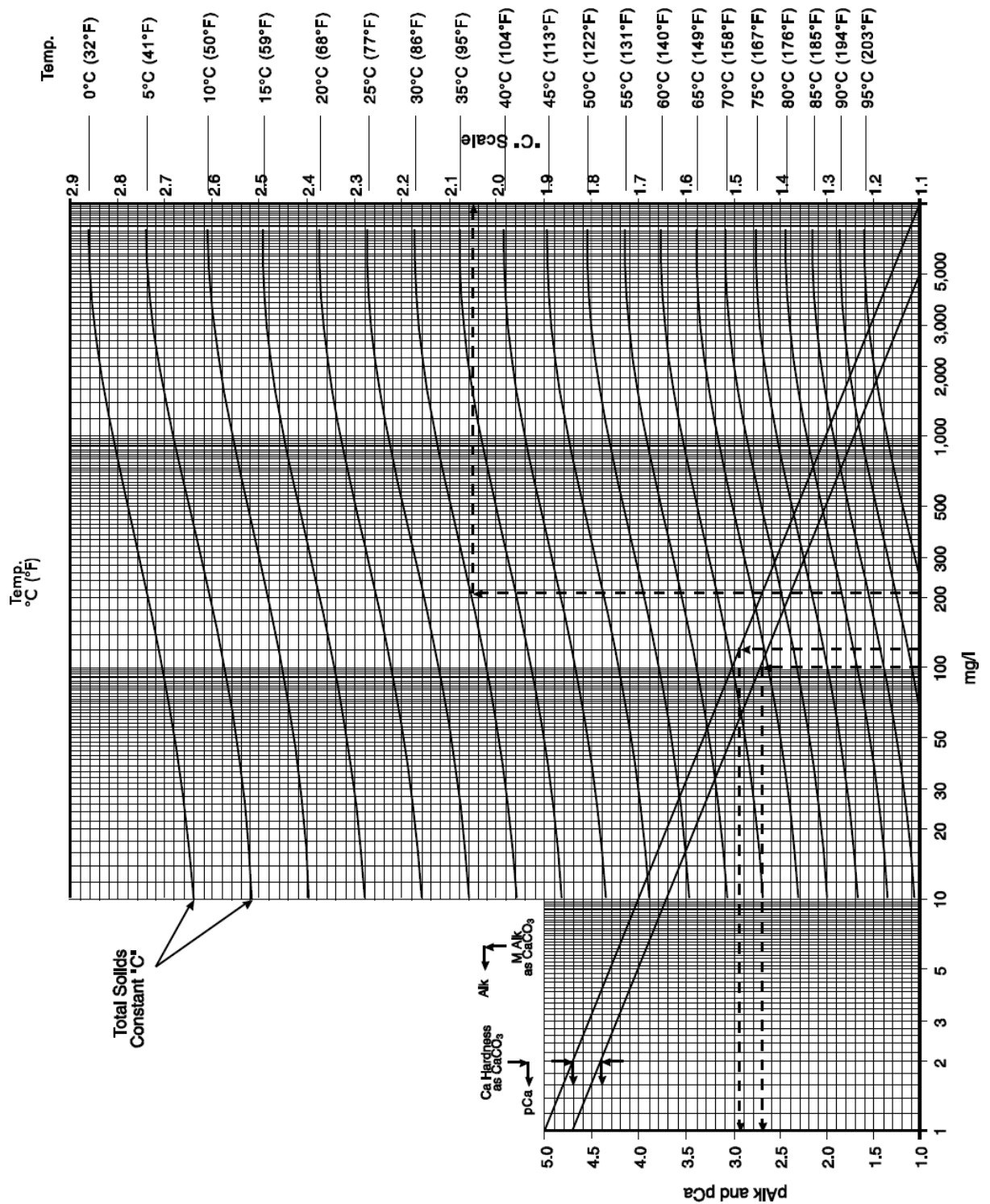


Gráfico 2. Determinação do Índice de Saturação de Langelier (Filmtec, 2008).

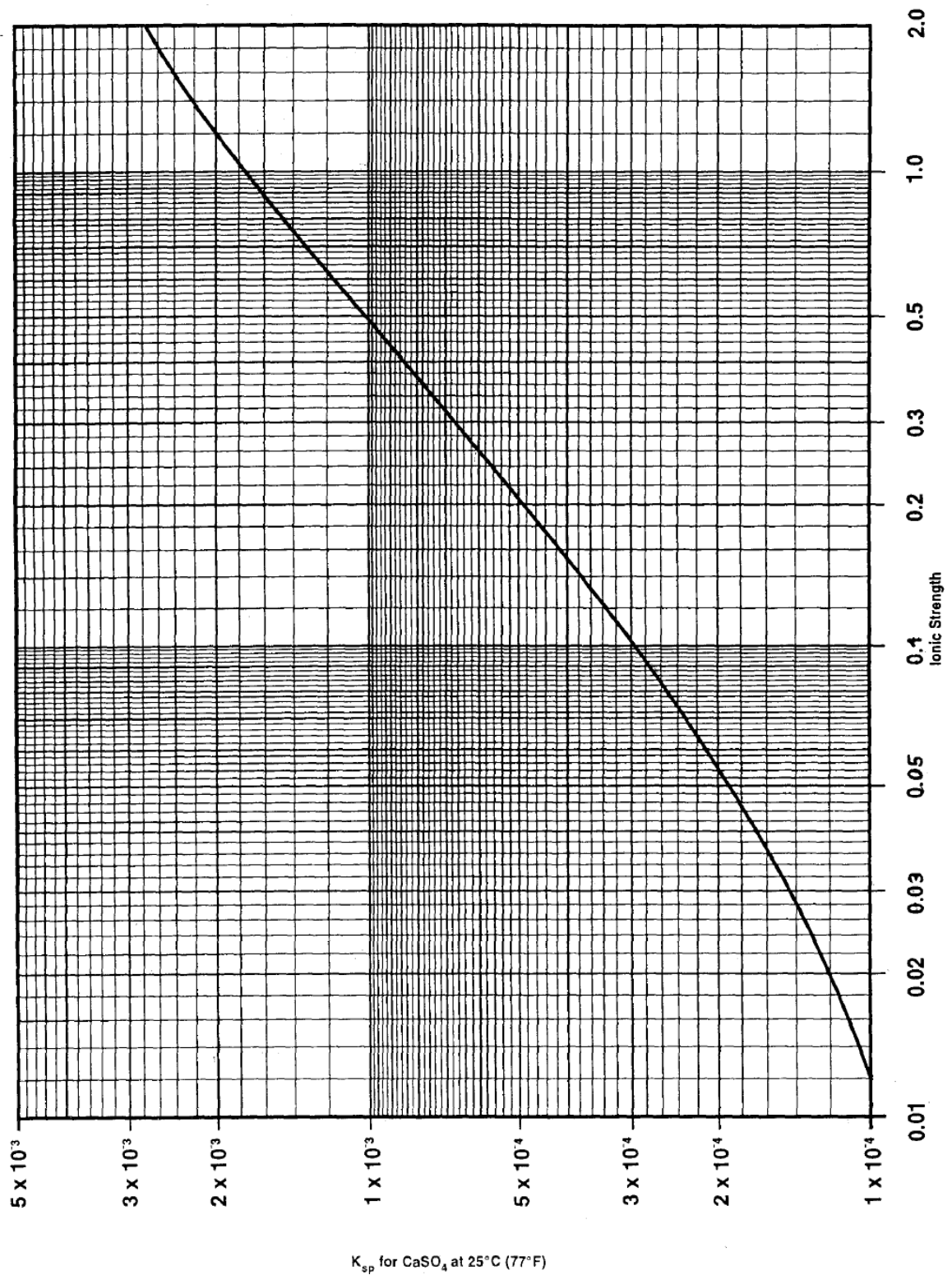


Gráfico 3. Produto de solubilidade para Sulfato de Cálcio em função da força iônica da solução (Filmtec, 2008).



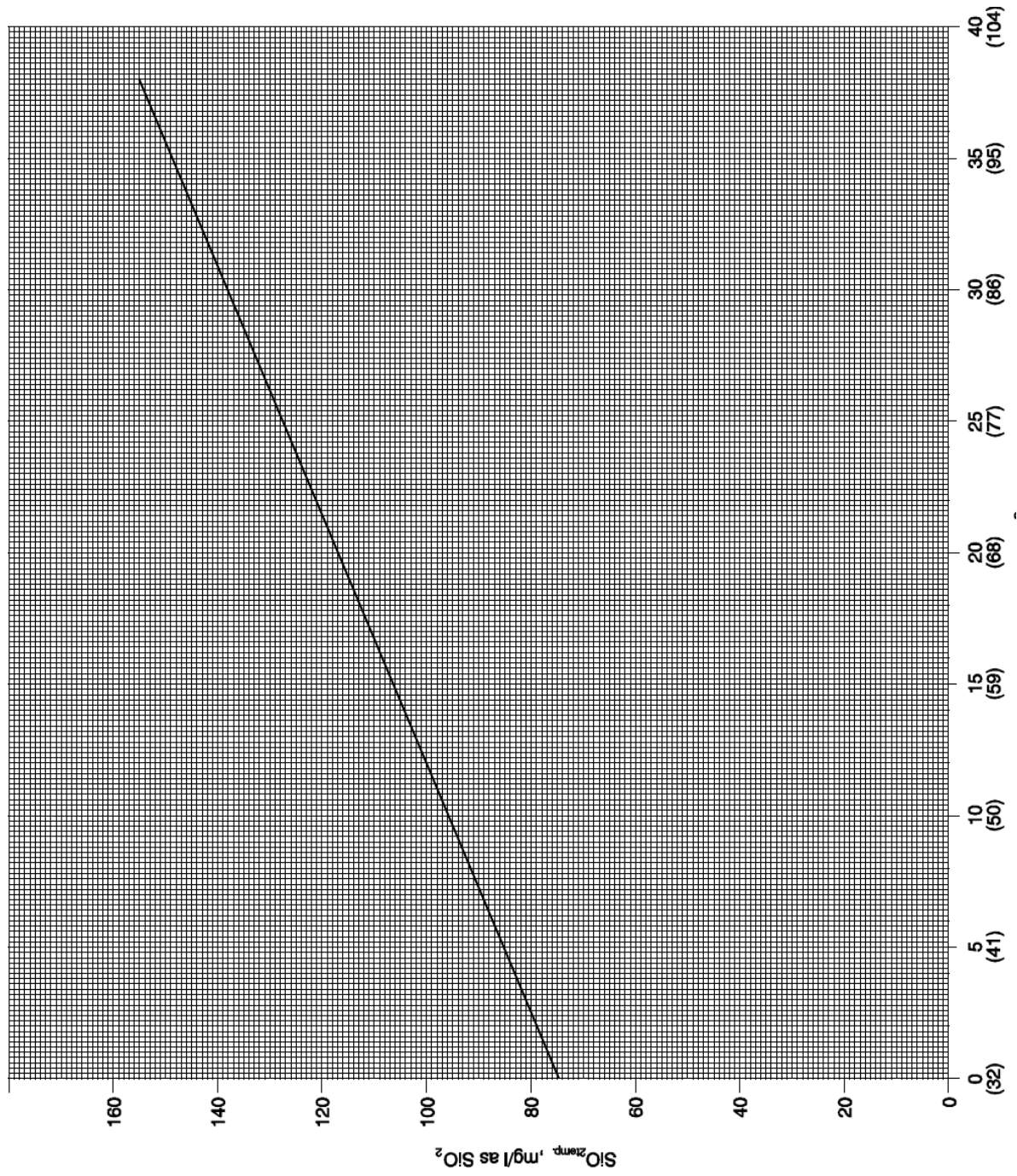


Gráfico 4. Solubilidade da Sílica em função da temperatura (Filmtec, 2008).

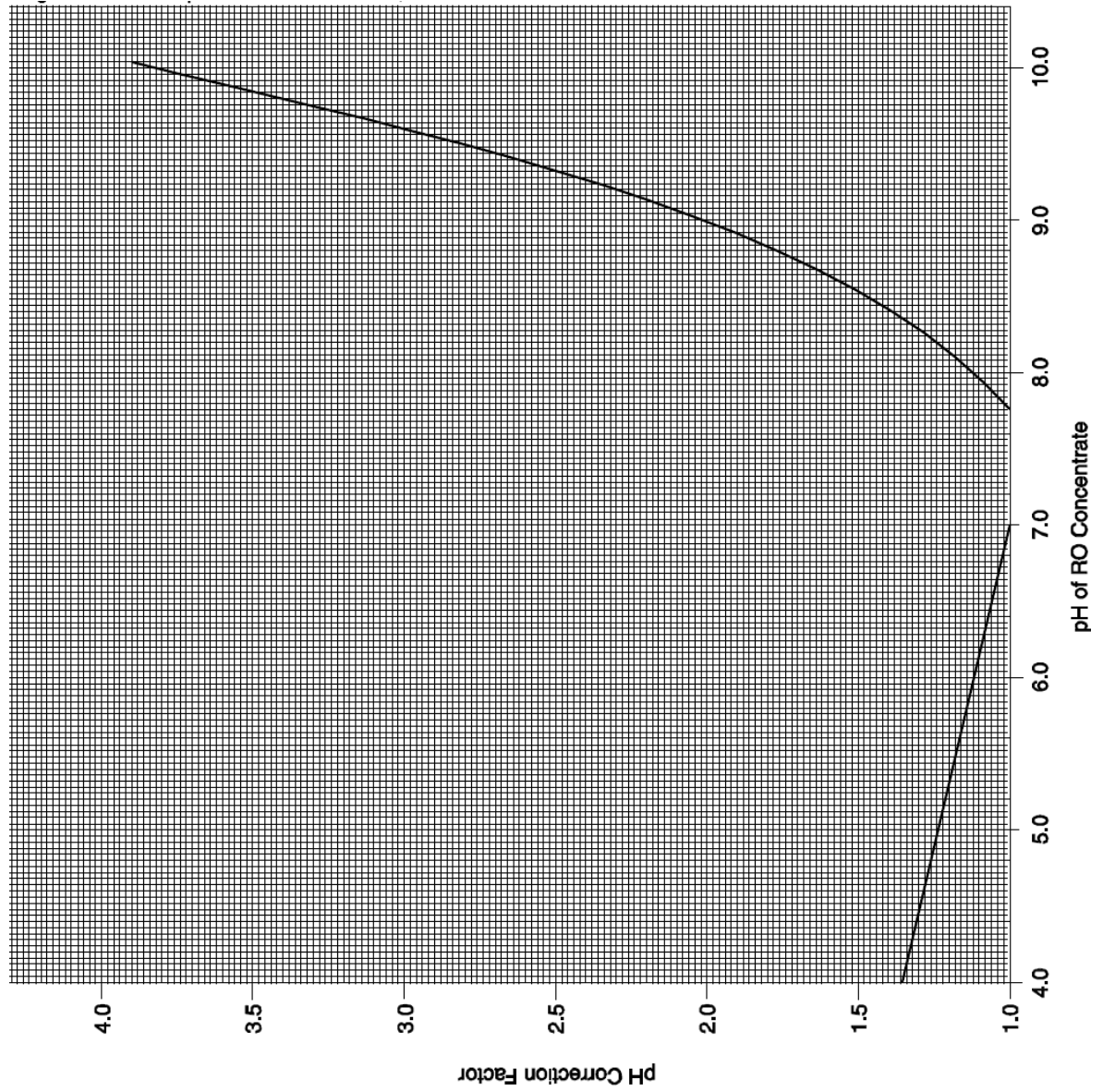


Gráfico 5. Fator de correção do pH para Sílica (Filmtec, 2008).

## 8.2 PLANILHA PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO.

MUNICÍPIO:\_\_\_\_\_. ESTADO:\_\_\_\_\_.

LOCALIDADE:

.

MÊS:\_\_\_\_\_. ANO:\_\_\_\_\_. CLORO APLICADO (mg/L):\_\_\_\_\_.

DIA	TDS (mg/L)	CLORO RESIDUAL (mg/L)	DEMANDA DE CLORO (mg/L)
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			

### 8.3 PLANILHA DE MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS DE OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE DESSALINIZAÇÃO.

MUNICÍPIO: \_\_\_\_\_ . ESTADO: \_\_\_\_\_ .

LOCALIDADE: \_\_\_\_\_

NOME(S) DO(S) OPERADOR(ES): \_\_\_\_\_

[illegible]

Onde: P1= Pressão de entrada dos filtros; P2= Pressão de saída dos filtros; P3= Pressão de entrada das membranas; P4 = Pressão de saída das membranas; Q1= Vazão do concentrado; Q2= Vazão do permeado.

## **Ministério do Meio Ambiente**

### **Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano**

**II REUNIÃO ANUAL DA COORDENAÇÃO NACIONAL DO PROGRAMA ÁGUA  
DOCE COM COORDENADORES ESTADUAIS E SECRETÁRIOS DE ESTADO**



## **Orientações Técnicas dos Componentes do Programa Água Doce para Implantação dos Sistemas de Dessalinização**

Brasília/DF

Junho de

2015

**Orientações Técnicas dos Componentes do**  
**Programa Água Doce**  
**para Implantação dos Sistemas de Dessalinização de Água**

**Coordenador Nacional do Programa Água Doce**

Renato Saraiva Ferreira

**Coordenação Nacional do Programa Água Doce**

Alexandre Saia

Henrique Pinheiro

Veiga José Alencar

Simões Kamilla

Bachstein

Larissa Alves da Silva Rosa

Regina Gleice Batista dos Santos

Solange Amarilis dos Santos

**Equipe de Apoio**

Francisca Abuchahin

Tainnara Fernandes Costa

Mayara Rocha da Silva

Biranele Sousa Silva



## **Componentes**

### **Sustentabilidade Ambiental**

Alexandre Jorge Pimentel Moura

Andréa Paula de Carestiato Costa

Rosemarie Montenegro

### **Sistema de Informações e Monitoramento**

Rafael Dantas de Moraes

### **Sistemas de Dessalinização**

Raniere Henrique Pereira Lira

Márcia Liana Freire

Shefora Elisângela Henriques

### **Obras Civas**

Alexandre Saia

Danillo Jonnes

José Tumé de

Lima

### **Mobilização Social**

Else Farias Albuquerque

### **Sistemas Produtivos**

Everaldo Rocha Porto

Luiz Carlos Hermes

### **Consultoria Jurídica do PAD**

Mônica Tavares Rocha



## **Coordenadores Estaduais**

Ana Cristina Azevedo – AL

Ruben Angel Zaldivar Armua – BA

Ricardo Lima de Medeiros Marques – CE

Jeane Dantas de Carvalho – MG

Robi Tabolka dos Santos – PB

Bartolomeu Vieira de Melo – PE

Adalberto do Nascimento Filho – PI

Ieda Maria Melo Cortez – RN

Patrícia Prado – SE

## **Parceiros**

Ministério do Desenvolvimento Social – MDS

Ministério da Integração Nacional -MI

Agência Nacional de Águas – ANA

Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Fundação Nacional de Saúde - FUNASA

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Serviço Geológico do Brasil - CPRM





SUMÁRIO	
Apresentação	1
Introdução	2
Recomendações Gerais	3
Componente Sustentabilidade Ambiental	5
Componente Sistema de Informações e Monitoramento	13
Componente de Sistemas de Dessalinização	19
Componente de Obras Civas	30
Componente Mobilização Social	42
Componente de Sistemas Produtivos	45
Fiscalização do Objeto dos Convênios	50
SICONV, Aspectos Jurídicos e Legais	56
Anexo 1 – modelo de planilha de acompanhamento dos convênios	

## APRESENTAÇÃO

O presente trabalho é fruto das reuniões técnicas iniciadas pela Coordenação Nacional do Programa Água Doce durante o VI Encontro Nacional realizado em novembro de 2014, em Brasília. Durante o Encontro, técnicos das coordenações estaduais do PAD, Coordenação Nacional e empresas responsáveis pela implantação dos sistemas de dessalinização apresentaram propostas para seu aperfeiçoamento.

Em fevereiro de 2015, na cidade de Recife/PE, a Coordenação Nacional do PAD reuniu as coordenações técnicas dos componentes do Programa que avaliaram as propostas de aperfeiçoamento considerando o início da ação em escala do Programa Água Doce. A nova meta prevê que até dezembro de 2016, outros sistemas de dessalinização sócio e ambientalmente sustentáveis serão implantados.

No dia 04 de março de 2015, em Fortaleza/CE, durante a Primeira Reunião Anual do Coordenadores Estaduais do PAD, os coordenadores dos componentes do PAD apresentaram as orientações técnicas estabelecidas na reunião de Recife.

Assim, como encaminhamento da Reunião de Fortaleza, a Coordenação Nacional do PAD elaborou este documento que consolida um conjunto de informações e recomendações que complementam e atualizam o conteúdo do Documento Base do Programa Água Doce, com a finalidade de promover a efetiva implantação e acompanhar o andamento da execução.

Portanto, estas orientações devem ser seguidas e implementadas na execução dos convênios firmados no âmbito do Programa Água Doce.

É importante reiterar que além do compromisso de possibilitar o acesso à água de qualidade para consumo humano, o objetivo do Programa Água Doce tem como premissa a garantia da qualidade na implantação e na gestão dos sistemas de dessalinização.

Nesse sentido, trata-se de um Programa que valoriza e adota um processo contínuo de aperfeiçoamento, buscando aprimorar a metodologia estabelecida ao longo dos seus dez anos de existência, sempre agregando novas tecnologias e ações que busquem melhorar, a qualidade de vida das pessoas, a segurança da água e a sustentabilidade ambiental para a convivência com o semiárido brasileiro.

Coordenação Nacional do Programa Água Doce



## INTRODUÇÃO

O Programa Água Doce (PAD) é uma ação do Governo Federal, coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente em parceria com diversas instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil. Visa ao estabelecimento de uma política pública permanente de acesso à água de boa qualidade para o consumo humano, incorporando cuidados técnicos, ambientais e sociais na gestão dos sistemas de dessalinização, prioritariamente em comunidades rurais difusas do semiárido brasileiro.

Em 2011, o Programa passou a integrar o Programa Água Para Todos, no âmbito do Plano Brasil sem Miséria, que visa ao combate à pobreza extrema, a redução das desigualdades sociais e a promoção de melhorias na qualidade de vida dos brasileiros. O Água Doce assumiu a meta de aplicar a metodologia do programa na recuperação, implantação e gestão de 1.200 sistemas de dessalinização, com investimentos de cerca de 240 milhões de reais. Para tanto, foram firmados convênios com os estados do Rio Grande do Norte, Alagoas, Paraíba, Sergipe, Ceará, Bahia, Minas Gerais, Piauí e Pernambuco com o objetivo de implantar, recuperar e promover a gestão de sistemas de dessalinização, fornecendo água de qualidade para a população rural desses estados.

Todos os convênios *“tem por objeto aplicar a metodologia do Programa Água Doce na recuperação, implantação e gestão de sistemas de dessalinização garantindo água potável para consumo humano em comunidades do estado no contexto do Programa Água para Todos no âmbito do Plano Brasil Sem Miséria.”* Neste contexto, os Planos de Trabalho possuem três fases que integram os componentes do Programa: 1ª Fase (Diagnóstico); 2ª Fase (Implantação/Recuperação dos Sistemas de Dessalinização e 3ª fase (Monitoramento e Manutenção).

O presente documento visa subsidiar os gestores dos convênios e as equipes técnicas do PAD nos estados e possui diretrizes atualizadas para evitar inadequações na aplicação da metodologia do PAD, objeto dos convênios.

Esta publicação está organizada por orientações de ordem geral; orientações técnicas por componente, para a fiscalização e aspectos administrativos (SICONV) e os jurídicos. Então, a importância do acesso e compreensão das etapas do PAD em cada fase da metodologia descrita detalhadamente no seu Documento Base, as orientações que complementam e atualizam os componentes neste momento.

## RECOMENDAÇÕES GERAIS

Neste item são enfatizadas as ações comuns a todo o processo de execução do PAD, como as atividades em eventos, os relatórios que entre outros registros que compõem o acompanhamento passo-a-passo da execução dos convênios em todas as suas instâncias (do local com as comunidades, perpassando pelos municípios e estados - os convenientes - à União e os órgãos de controle), sua prestação de contas e efetivo funcionamento podem ser a qualquer momento acessados e conhecida sua condição.

### RELATÓRIOS

A fim de se aperfeiçoar o acompanhamento da execução, Relatórios Mensais do Convênio deverão ser apresentados mensalmente – **até o dia 5 do mês subsequente**.

**Conteúdo mínimo** dos Relatórios Mensais:

- Atualização do contexto da execução do convênio, incluindo descritivo das atividades realizadas no período com os devidos registros de fotografias;
- Cópia do extrato da conta do convênio também a ser registrado no SICONV;
- As informações do modelo enviado por e-mail às coordenações do PAD nos estados em março de 2015 a serem preenchidas em modo planilha utilizando aplicativo tipo EXCEL (Anexo 1). O modelo deverá ser adaptado conforme o Plano de Trabalho de cada estado.

### REGISTROS DE IMAGENS E EQUIPAMENTOS DE PROJEÇÃO

As atividades que envolvem reuniões com a presença de técnicos e/ou pessoas das comunidades devem sempre contar com os equipamentos de projeção (computador e *datashow*) e de máquinas fotográficas levadas pelas equipes técnicas do PAD nos estados ou das empresas contratadas.

Os registros de imagens (fotografias) de quaisquer atividades do PAD nos estados devem oferecer enquadramentos para:

- reuniões e/ou evento social do PAD;
- a comunidade (para os diagnósticos socioambientais);
- os sistemas de dessalinização nos diversos estágios de implantação;
- a placa de identificação da obra;
- a placa de identificação dos sistemas de dessalinização (incluindo o código identificador dos sistemas);
- elementos ambientais complementares que contribuem para caracterizar as comunidades e/ou aos sistemas de dessalinização.

### VEÍCULOS E EQUIPAMENTOS ADQUIRIDOS OU LOCADOS PELO PROGRAMA ÁGUA DOCE

Os veículos e equipamentos alugados ou locados pelo PAD devem ser de uso **EXCLUSIVO** para atividades do PAD.

## OS NÚCLEOS ESTADUAIS DO PROGRAMA ÁGUA DOCE

O Núcleo Estadual é a instância consultiva e deliberativa do Programa Água Doce no âmbito estadual.

Nas diversas etapas e fases da execução dos Convênios dos Estados, o Núcleo Estadual do PAD deverá ser consultado.

Ao Núcleo Estadual devem ser apresentados os resultados de diversas ETAPAS e FASES de execução do Programa, para sua análise e deliberação, como por exemplo, a apresentação de Testes de Vazão, das Análises Físico-Químicas da Água e para a Seleção de Comunidades à serem beneficiadas.

É necessário que a Coordenação Estadual do Programa estabeleça uma **AGENDA DE REUNIÕES MENSAIS** do Núcleo Estadual do PAD proceda as discussões e deliberações sobre diversos assuntos relativos ao Programa, seja sobre o acompanhamento do estágio de execução do convênio, como em discussões técnicas e apresentações de propostas visando a melhoria do Programa.

## EMPRESAS CONTRATADAS PARA EXECUTAR O OBJETO DOS CONVÊNIOS DO PAD

As Empresas contratadas para executar o objeto dos Convênios do PAD DEVEM contar com **UM CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO** de suas atividades nos municípios, **DISCRIMINANDO O PERÍODO DOS TRABALHOS, AS LOCALIDADES QUE SERÃO ATENDIDAS NO PERÍODO.**

Este CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO deve ser atualizado periodicamente e ser ENCAMINHADO À COORDENAÇÃO ESTADUAL E NACIONAL DO PAD.

O referido Cronograma deverá também ser apresentado ao NÚCLEO ESTADUAL DO PAD, pela Coordenação Estadual. Tal procedimento tem como **FINALIDADE PROPORCIONAR CONDIÇÕES para MONITORAR AS AÇÕES de Execução como propiciar o melhor acompanhamento da FISCALIZAÇÃO da EXECUÇÃO DO CONVÊNIO** no campo (nas localidades).

## RESÍDUOS SÓLIDOS

Destinação dos Resíduos Sólidos do processo de dessalinização e de todas as etapas de instalação do dessalinizador por exemplo, pré-filtros e membranas. Quando expirado o tempo de vida útil desses elementos, os mesmos devem **ser recolhidos e acondicionados para destinação ecologicamente adequada.**

**Nunca esse material deve ser lançado ao campo.**

## COMPONENTE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Alexandre Jorge Pimentel Moura

Andréa Paula de Carestiato Costa

Este componente trabalha com cinco dimensões da sustentabilidade: social, ambiental, econômica, espacial e cultural. É executado por uma equipe de técnicos capacitados em cada estado.

No processo metodológico utilizado, são abordados dois aspectos. O primeiro está relacionado à avaliação da comunidade como um todo, o que permite estabelecer fatores de criticidade, e, em função disto, priorizar comunidades para que sejam desenvolvidas as ações do Programa Água Doce. Outro aspecto é a realização de um levantamento mais detalhado nas comunidades selecionadas, envolvendo as famílias que vivem na comunidade.

Além destas ações, realizam-se oficinas de treinamento junto às comunidades sobre manutenção e cuidados para manter a qualidade da água dessalinizada e o monitoramento da qualidade ambiental com o foco na salinidade do meio.

### DIAGNÓSTICO SÓCIO AMBIENTAL

O Diagnóstico Socioambiental é um dos mais importantes instrumentos de planejamento das ações do Programa Água Doce junto às comunidades. As informações contidas nesse documento permitem seu uso além do âmbito do Programa Água Doce, como por exemplo, torna-se um instrumento de planejamento de ações, tanto na esfera federal como nas Estadual e Municipal.

O Diagnóstico promovido pelo Programa Água Doce permite uma verificação detalhada da realidade das comunidades, com levantamento de informações até então não registradas e um aprimoramento e atualização de informações socioambientais, anteriormente já levantadas em outros estudos.

O Diagnóstico Socioambiental é um documento de referência para uso contínuo pela gestão do Programa. Sendo elaborado na primeira Fase da primeira Etapa, o Diagnóstico deverá ter seu uso referendando todas as ações posteriores dessa Fase.

As Empresas contratadas para a execução das obras físicas, o dimensionamento dos sistemas de dessalinização e para os trabalhos de mobilização social deverão ter conhecimento, acesso a esse documento e proceder seu planejamento e execução de suas atividades baseadas nas informações do Diagnóstico Sócio Ambiental.

### DADOS E INFORMAÇÕES – LEGENDAS E EXPRESSÕES TÉCNICAS

**As observações sobre a apresentação dos dados e das informações no Diagnóstico Sócio Ambiental do PAD.**

Há uma preocupação em fazer com que os dados e informações obtidas e constantes no Diagnóstico possam ser apresentadas de forma compreensível para todos, precisa e segura.

No Diagnóstico devem constar as citações das fontes de onde foram obtidas as informações, sejam textos, tabelas, gráficos e outros.

**Dessa mesma forma, AS LEGENDAS** de quadros, tabelas ou outro tipo e **EXPRESSÕES TÉCNICAS** apresentadas nos diagnósticos devem ser esclarecedoras e precisam ser definidas, conceituadas para o entendimento do leitor.

Ex. Desativado/Inativo, o que significa uma e outra palavra?

## ANÁLISES DOS DADOS E ORIENTAÇÕES

Os Diagnósticos devem apresentar a análise dos dados e das informações com apresentação de orientações. Trata-se de um documento de referência em que deverá ser consultado por diversos públicos, devendo trazer as informações técnicas, mas com uma apresentação dessas informações de forma clara, precisa e com uma linguagem simples, porém sem perder sua característica técnica.

A primeira fase da elaboração do Diagnóstico, denominamos de PRÉ-diagnóstico que corresponde ao momento que precede a ida a campo (visita as localidades rurais) para a coleta das informações. O objetivo do pré-diagnóstico é obter informações e dados já levantados em trabalhos realizados anteriormente por outras instituições, que assegure o norteamento das ações e dos novos levantamentos de informações. Baseia-se em consultas a páginas oficiais institucionais na internet, a documentos, a artigos científicos, a publicações e a bibliografias, bem como visitas as Bibliotecas e Instituições Governamentais e Não Governamentais que tradicionalmente tratam das temáticas objetos do nosso Programa.

### Instituições

**Em instituições governamentais podem ser obtidas informações para o pré-diagnóstico como:** DNOCS, FUNASA, SUDENE, CPRM, EMBRAPA, IBGE, CODEVASF, INCRA, FUNAI, Universidades, Secretarias Estaduais e Municipais entre outras.

### Sites importantes:

a) EMBRAPA – SOLOS

Consultas sobre as características de solos dos municípios do nordeste brasileiro podem ser realizadas através do site da Embrapa Solos.

<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pe>

b) CPRM – Sistema de Informações sobre Águas Subterrâneas - SIAGAS.

c) FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. Encontra-se publicações, legislações e normas técnicas sobre águas para consumo humano.

d) CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente – Consulta-se Resoluções.

## SALINIDADE DAS ÁGUAS

As águas têm suas classificações e enquadramentos quanto ao teor de sais e sua destinação estabelecidos em normas.

## Normatização

**Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (Publicada no DOU nº 053, de 18.03.2005, páginas 58-63).**

Esta Resolução *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. A classificação das águas é caracterizada pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA.

No seu Artigo 2º são adotadas as seguintes definições:

- I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰<sup>1</sup>;
- II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;
- III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.

## Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de 2011

Para o padrão brasileiro de qualidade de água para consumo humano, os parâmetros estão estabelecidos na **Portaria Federal do Ministério da Saúde nº 2914 de 2011**, os quais estão definidos seus respectivos **Valores Máximos Permitidos**.

As águas para o consumo humano devem possuir limites máximos de substâncias químicas e de microrganismos que possam representar riscos à saúde.

Essa normativa estabelece conjuntos de **parâmetros e respectivos valores máximos permitidos (VMP)**, os quais estão organizados nos anexos da referida Portaria conforme segue abaixo:

- Anexo I – padrão **microbiológico** da água para consumo humano
- Anexo II - padrão de **turbidez** para água pós-filtração ou pré-desinfecção
- Anexo VII - padrão de potabilidade para **substâncias químicas** que representam risco à saúde
- Anexo VIII - tabela de padrão de **cianotoxinas** da água para consumo humano
- Anexo IX - tabela de padrão de **radioatividade da água** para consumo humano
- Anexo X - padrão **organoléptico** de potabilidade.

Quanto ao Teor de Sais e respectivos Valores Máximos Permitidos está estabelecido no Anexo VII - padrão de potabilidade para **substâncias químicas** que representam risco à saúde, os seguintes valores:

Dureza Total – 500 mg/l

Sódio – 200 mg/l

Sólidos Dissolvidos Totais – 1000 mg/l

<sup>1</sup> ‰ = Parte por Mil



**Dureza** de uma água é a medida da sua **capacidade de precipitar sabão**, isto é, nas águas que a possuem, os sabões transformam-se em complexos insolúveis, não formando espuma até que o processo se esgote.

É causada pela **presença de cálcio e magnésio**, principalmente, além de outros cátions como ferro, manganês, estrôncio, zinco, alumínio, hidrogênio entre outros associados a ânions **carbonato** (mais propriamente bicarbonato, que é mais solúvel) e **sulfato**.

#### CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA QUANTO A SUA DUREZA

CLASSE	ppm de $\text{CaCO}_3$	GRAUS DE DUREZA (°d)
Muito branda	< 71,2	< 4
Branda	71,2-142,4	4.- 8
Semi dura	142,4-320,4	8 – 18
Dura	320,4-534,0	18 – 30
Muito Dura	> 534,0	> 30

Fonte: Conceição, 2003

#### AGROTÓXICOS

As águas podem ser contaminadas por agrotóxico. A Portaria MS 2914/2011, em seu Anexo VII define os Valores Máximos Permitidos para diversas substâncias nocivas à saúde pública relacionadas com o uso do agrotóxico.

Os Diagnósticos Socioambientais das comunidades que se localizam em áreas onde existem produções agrícolas e/ou florestais, principalmente de grandes extensões, de forma mecanizada e/ou que se utilizem uso de agrotóxicos, devem DESTACAR essa CONDIÇÃO.

#### POÇOS

Os poços que serão objeto do Programa na comunidade deverão ter seus usos bem conhecidos e definidos. Conhecer os atuais usos pela população da água do poço é determinante para diversas tomadas de decisão quanto a instalação do Sistema de Dessalinização e a sua gestão.

**Usos Precedentes** - Identificar os **USOS PRECEDENTES da água do poço (antes da instalação do Sistema de Dessalinização)** é um ponto a ser bem caracterizado no Diagnóstico Socioambiental. Tipos de uso e volume devem constar no Diagnóstico

#### A vazão do Poço e Análise de Água

**Testes de Vazão** - Os testes de vazão dos poços devem ser **realizados utilizando-se métodos seguros, pois essa informação é fundamental para viabilizar e dimensionar os sistemas de dessalinização**.

**Análise das Análises de Água** – As apresentações dos resultados das análises das águas devem ser de forma analítica comparada aos parâmetros técnicos estabelecidos em

normas técnicas e legais, voltadas ao consumo humano, bem como, as destinadas aos eventuais outros usos. Nesta análise, quando for o caso, a presença de elementos nocivos à saúde humana, animal deve ser destacada.

Mesmo considerando que o sistema de dessalinização por osmose inversa retém substâncias, a apresentação da presença dessas substâncias contidas inicialmente na água do poço, determinará a presença e concentração das mesmas substâncias na água do concentrado. Dessa forma, para que se determine os possíveis usos da água do concentrado é fundamental o acesso a essas informações.

### **TANQUE DE CONTENÇÃO DO CONCENTRADO**

O Tanque de Contenção de Concentrado é estrutura destinada a receber o concentrado gerado pelo processo de dessalinização com o objetivo de armazená-lo de forma a evitar que se disperse no ambiente.

Em que pese a possibilidade de utilização de águas salinas na irrigação de determinadas culturas agrícolas, quando utilizada técnicas específicas, e a possibilidade de recuperação de solos salinizados, não se deve lançar o concentrado no meio ambiente.

A observância ao **Princípio da Precaução** justifica que o procedimento seja a contenção do Concentrado em tanques próprios, revestidos de material impermeável, para que este não se disperse no ambiente.

Mantido armazenado no tanque, parte desse concentrado é evaporado naturalmente diminuindo significativamente seu volume.

### **BALANÇO HÍDRICO DO TANQUE DE CONCENTRADO**

O tanque de concentrado tem as seguintes dimensões, 12 m x 30 m x 2,0 m e na menor área 8 m x 26 m, cujo volume é de aproximadamente 500 m<sup>3</sup>.

Neste tanque, existirão “entradas” e “saídas” nesse sistema. Definem-se como “entradas” as águas do concentrado e as águas da chuva (precipitação) e como “saídas” a água evaporada e os eventuais usos do concentrado.

Ter informações sobre Dados Meteorológicos – Precipitação e Evaporação – torna-se informações essenciais para se realizar o cálculo do balanço hídrico do tanque de contenção de concentrado. Informações sobre Precipitação e Evaporação de cada município onde encontra-se as comunidades a serem diagnósticas deverão ser obtidas pela empresa contratada e devem constar no diagnóstico socioambiental.

É necessário que no diagnóstico constem os tipos de rebanhos (caprino, ovino, bovino, entre outros), o número desses animais e as fontes de água que tradicionalmente fazem uso, citando quais dessas fontes são usadas nos períodos de estiagem (ex. poço, açude)

### **EVENTUAIS POSSÍVEIS USOS DO CONCENTRADO**

1) **Dependendo do teor e dos tipos sais** e da presença de determinadas substâncias químicas, esse **concentrado poderá ser utilizado** para diversos usos, como:

- Dessedentação Animal
- Uso Doméstico – ex. uso em descargas sanitárias
- Irrigação – Regas – Plantas halófitas
- Criação de Peixes

Determinar as épocas durante o ano em que se pode fazer ou faz uso desse concentrado e dimensionar o volume desses usos são fundamentais para o acompanhamento da gestão do tanque de concentrado, o balanço hídrico do tanque.

2) Porém, para definição dos possíveis usos é necessário que se tenha **conhecimento da composição do concentrado**.

Conforme a concentração de sais contida na água (concentrado) poderá ser fazer uso do mesmo para a dessedentação dos animais de criação. Observar ainda, não só a concentração de sais, mas também os tipos de substâncias ou elementos que encontra-se no concentrado, como por exemplo a presença do magnésio.

**Limite máximo de sais na água usada na dessedentação de animais (Embrapa Semiárido)**

Categoria	Total de sais (g/l)
Aves	2,8
Suínos	4,3
Eqüinos	6,4
Bovinos Leiteiros	7,1
Bovino de corte	10,0
Ovinos	12,8
Caprinos	17,0

## BALANÇO HÍDRICO DO TANQUE DE CONTENÇÃO DO CONCENTRADO



Para o cálculo do Balanço Hídrico do Tanque de Contenção do Concentrado são necessárias as seguintes informações:

1. Dados Meteorológicos de Pluviometria e da Evaporação
2. O volume do Concentrado que será produzido
3. Eventuais usos do concentrado

### PROPOSTA DE PLANILHA PARA DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE TANQUES DE CONTENÇÃO DO CONCENTRADO

Meses	Evaporação (mm)	Precipitação (mm)	Volume do Concentrado Produzido (m³)	Volume Concentrado Utilizado (m³)*	Volume no tanque no início do mês (m³)	Volume Evaporado (m³)**	Volume Precipitado (m³)	Volume no tanque no final do mês (m³)***	Altura lâmina d'água (m)
Janeiro	233,17	26	57,6	10,00	0,00	66,22	9,36	0,00	0,00
Fevereiro	206,56	35,2	57,6	10,00	0,00	58,66	12,67	1,61	0,01
Março	205,71	82,3	57,6	10,00	1,61	58,42	29,63	20,42	0,07
Abril	168,29	69,4	57,6	10,00	20,42	47,79	24,98	45,20	0,16
Mai	154,3	58,7	57,6	10,00	45,20	43,82	21,13	70,12	0,25
Junho	120,1	53	57,6	10,00	70,12	34,11	19,08	102,69	0,36
Julho	131,43	45,9	57,6	10,00	102,69	37,33	16,52	129,49	0,46
Agosto	164,91	19,2	129,6	20,00	129,49	46,83	6,91	199,16	0,70
Setembro	199,25	5,5	129,6	20,00	199,16	56,59	1,98	254,16	0,89
Outubro	252,17	6,6	129,6	20,00	254,16	71,62	2,38	294,52	1,04
Novembro	241,22	4,3	129,6	20,00	294,52	68,51	1,55	337,16	1,19
Dezembro	240,96	9,4	129,6	20,00	337,16	68,43	3,38	381,71	1,34

\* Para a coluna de "Volume de Concentrado Utilizado" poderão ser criadas várias colunas considerando os diferentes usos da comunidade

\*\* Para o cálculo do volume evaporado é considerada a área média do tanque = 284m²

\*\*\* O cálculo do volume do tanque no final do mês é dado pela fórmula ( $V_a = V_p + V_c - V_e - V_u$ ), onde:

$V_a$  - Volume acumulado  
 $V_p$  - Volume precipitado  
 $V_c$  - Volume de concentrado produzido  
 $V_e$  - Volume evaporado  
 $V_u$  - Volume de concentrado utilizado

### O TANQUE DE CONTENÇÃO DO CONCENTRADO

O Programa Água Doce estabeleceu para o recebimento do concentrado produzido pelo processo de dessalinização a construção do Tanque de Contenção de Concentrado com as seguintes dimensões:

Base Maior = 12 m x 30 m, Base Menor = 8 m x 26 m x 2 m e Altura h= 2,0 m

### O MEIO TANQUE

O meio tanque é uma alternativa de construção do Tanque de Contenção com menor capacidade de acumulação que o tanque original.

Suas medidas são:

Base Maior = 12 m x 15 m      Base Menor = 8 m x 11 m      e Altura h= 2,0

O meio tanque de contenção do concentrado será admitido, EXCEPCIONALMENTE, quando o cálculo do Balanço Hídrico indicar a impossibilidade de transbordamento do referido tanque, para as condições locais estabelecidas. Para a autorização da construção do Meio Tanque haverá a necessidade de ser emitida uma Nota Técnica afirmando essa condição assinada por responsável técnico pelo Sistema de Dessalinização.

As empresas contratadas para a execução das ações socioambientais deverão apresentar a Coordenação Estadual do PAD e esta, por sua vez, deve apresentar a Coordenação Nacional, proposta de atuação na formação, capacitação e realização de palestras junto à comunidade, onde deverá estar definido formatos, recursos didáticos a serem utilizados, carga horária, conteúdo abordado do material impresso e perfil dos profissionais que executarão esta ação.

O Núcleo Estadual do Programa **deverá participar** dessas discussões e construção.

Nessas atividades deve-se evidenciar a compreensão da importância das diversas formas de obtenção de água na comunidade (dessalinizador, cisternas, cisternas calçadão, sistemas simplificados, açudes, barreiros entre outros), valorizando cada uma delas nas suas especificidades, funções e integrações, mas DESTACANDO o DESSALINIZADOR como fonte SEGURA de água para consumo humano.

## SISTEMA DE INFORMAÇÕES E MONITORAMENTO

**Rafael Dantas de Moraes**

O componente Sistema de Informações e Monitoramento inicialmente era um subcomponente e estava inserido no antigo componente Gestão, o qual tinha como objetivo garantir a sustentabilidade dos sistemas de dessalinização implantados pelo Programa.

Diante da grande quantidade de informações em escala de semiárido e microescala de detalhamento, foi necessário tornar o Sistema de informações e Monitoramento um componente responsável pela gestão, o acompanhamento técnico e o controle social da metodologia aplicada.

O componente tem como objetivo estruturar um banco de dados de interesse do Programa e acompanhar o funcionamento dos sistemas de dessalinização e sua sustentabilidade. Estas Informações servirão de apoio às ações técnicas e administrativas do Programa Água Doce, tanto da Coordenação Nacional como dos co-executores, núcleos estaduais e locais. A estruturação desta base de dados possibilitará tratamento, organização, recuperação, projeção e disponibilização de resultados de maneira rápida e confiável.

O componente Sistema de Informações e Monitoramento configura-se também como um instrumento básico para a gestão, o acompanhamento técnico e o controle social da metodologia aplicada.

### METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS

A metodologia para a elaboração da base de dados georreferenciada do Programa Água Doce, descreve as fases necessárias e atribui competência à Coordenação Nacional e Coordenações Estaduais, é dividida em cinco etapas: I. Coleta, II. Organização, III Sistematização, IV. Qualificação e V. Consolidação. Conforme roteiro metodológico a etapa I configura-se como ou coleta ou georreferenciamento das informações geográficas, momento no qual a empresa contratada pela Coordenação Estadual para realização dos diagnósticos socioambientais e técnicos vai a campo, aplica os questionários, coleta informações e faz o georreferenciamento da localidade e seus equipamentos sociais conforme metodologia para realização dos diagnósticos socioambientais e técnicos (Documento Base).

### ETAPAS SEGUIDAS PARA CONSOLIDAÇÃO DO BANCO DE DADOS DO PAD



Após coletadas as informações e estruturadas em relatórios técnicos, conforme figura 02, estes dados serão organizados em planilhas online (Etapa II) de modo que cada variável corresponda a uma coluna e cada linha a uma localidade ou equipamento social. A planilha deverá ser atualizada conforme conclusão dos diagnósticos, procedimento de responsabilidade da Coordenação Estadual.

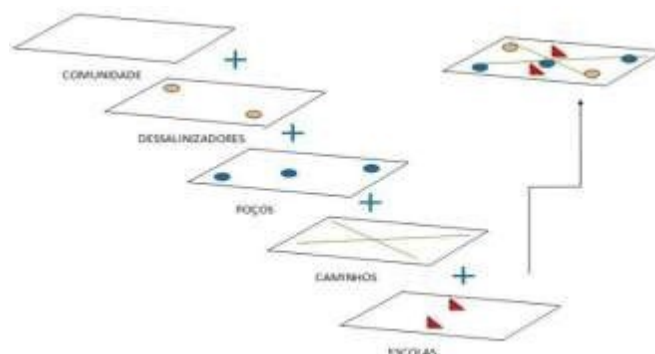
## PLANILHA ONLINE DE INFORMAÇÕES DOS DIAGNÓSTICOS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	CODIGO	UF	MUNICIPIO	LAT	LONG	TIPO	COMUNIDADE	FAMILIAS	HABITANTES	DATA COLETA
2	PAD-CE100	CE	AIJUBA	-6,371944444	-40,07463611	COMUNIDADE	BOA VISTA/JATOÁ	20	80	12/17/2013
3	PAD-CE101	CE	AIJUBA	-6,733377778	-40,37689167	COMUNIDADE	CEDRO	194	536	12/17/2013
4	PAD-CE102	CE	AIJUBA	-6,627777778	-40,4397	ASSENTAMENTO	LAGOA DOS ROCHAS	22	88	12/18/2013
5	PAD-CE103	CE	AIJUBA	-6,656688889	-40,32094444	COMUNIDADE	RIACHO CATINGUEIRA	56	232	12/18/2013
6	PAD-CE104	CE	AIJUBA	-6,661377778	-40,51294167	COMUNIDADE	BOM NOME	223	900	12/17/2013

Para viabilizar elaboração do banco de dados e garantir êxito nas etapas de coleta e organização das informações provenientes dos diagnósticos, é fundamental o acompanhamento técnico dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. De acordo com o momento de execução de cada estado, serão realizadas reuniões técnicas e capacitações com equipe da Coordenação Estadual ou equipe das empresas contratadas para realização dos diagnósticos, bem como orientações necessárias para as etapas de implantação, manutenção e monitoramento dos sistemas conforme demanda.

Após organizadas e repassadas à Coordenação Estadual as informações serão sistematizadas (III etapa) em camadas vetoriais/extensão *shapefile* com a utilização do *software* livre Quantum Gis 2.6.1. A camada vetorial será configurada a partir do Sistema de Referência Geodésico SIRGAS 2000 conforme resolução do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística nº 4.740, de 13 de junho de 2003.

## FLOXOGRAMA DA COMPOSIÇÃO DE INFORMAÇÕES POR CAMADAS DO PAD



A etapa IV corresponde à qualificação ou validação das informações sistematizadas o que consiste no refinamento das informações geográficas realizados por amostragem em comunidades dos 09 estados de atuação do Programa Água Doce.

Este procedimento será realizado pela equipe nacional do PAD, por intermédio de visitas *in loco* às comunidades já diagnosticadas. O grupo é composto por profissionais com formação para atuação nos componentes de Dessalinização, Mobilização Social, Obras Civas, Sustentabilidade Ambiental e o subcomponente de Sistema de Informações e Monitoramento. Estas informações coletadas em campo são analisadas e retificadas, caso seja necessário.

Neste contexto, serão coletadas informações geográficas e realizado cruzamento destas informações com os dados primários coletados anteriormente para aferir precisão e discrepância das coordenadas coletadas nos diagnósticos. Considerar-se-á como acerto os pontos cuja variação é de no máximo 4 metros, valor do erro em



precisão comum para os receptores de sinal GPS manuais utilizados no diagnóstico socioambiental e técnico.

Para validação e qualificação *in loco* será utilizada equação de exatidão total (Equação 01) dada pela divisão do somatório dos valores dos pontos coletados e o total de pontos selecionados ( $n$ ), a qual apresenta-se como método viável de validação do mapeamento realizado.

#### EQUAÇÃO DE EXATIDÃO TOTAL

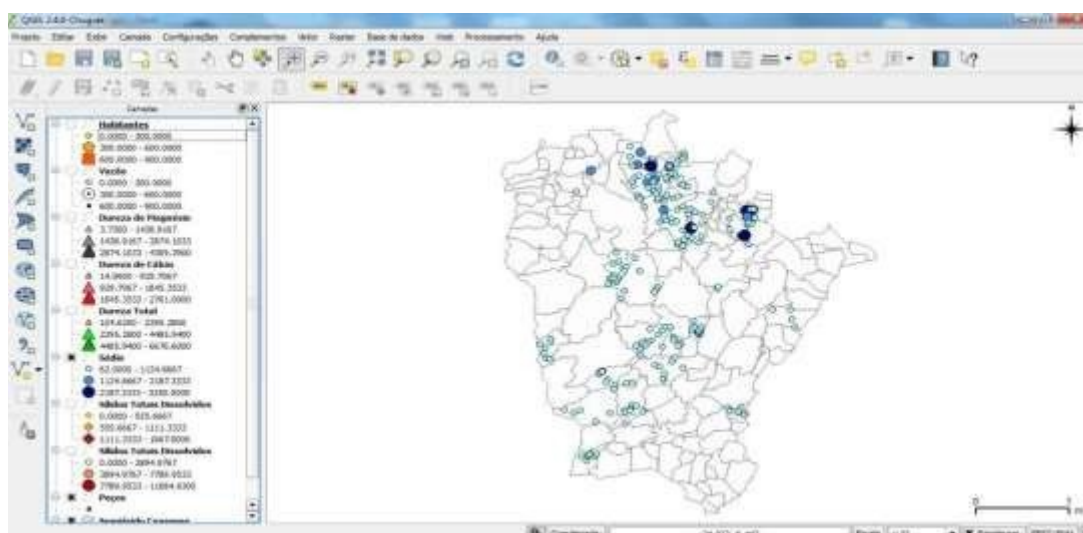
$$\frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{n}$$

Este procedimento irá permitir aferição da validação técnica e percentual dos dados coletados e será apresentado como item do relatório técnico, produto C desta consultoria que será apresentado em 210 dias, previsto na Proposta Técnica 173.

#### FERRAMENTA DE VISUALIZAÇÃO DE DADOS

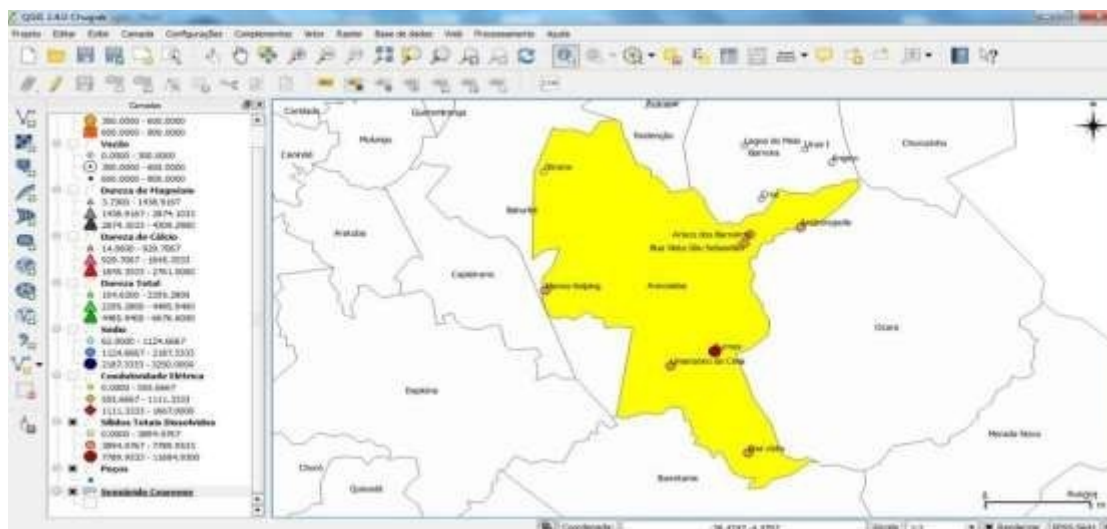
Será desenvolvida ferramenta off-line de visualização o Sistema de Informações e Monitoramento do Programa Água Doce Off-line (SIMPAD OFF), com a finalidade de viabilizar a visualização e interpretação dos dados consolidados de cada localidade. Este sistema irá possibilitar comparação entre informações de comunidades distintas, identificando valores extremos e problemas em tempo hábil para tomada de decisões. Sua interface terá como base a interface do *software* livre Quantum Gis 2.6.1 e será atualizado pela Coordenação Nacional conforme consolidação do banco de dados de cada estado e sua implementação no sistema.

#### MAPEAMENTO DO TEOR DE SÓDIO NAS LOCALIDADES DIAGNOSTICADAS





## MAPEAMENTO DOS SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS EM ARACOIABA



As versões do SIMPAD OFF irão possibilitar acesso das informações consolidadas em camadas vetoriais. Outras informações e informações geográficas disponibilizadas por instituições como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) também serão disponibilizadas no SIMPAD.

### DETALHAMENTO DE INFORMAÇÕES VINCULADAS ÀS CAMADAS VETORIAIS

Informações Gerais	Detalhamento
Localidade <sup>2</sup>	Município, Nome, Tipo (Comunidade, Assentamento ou Sede), Coordenadas (Graus), Número de famílias, Número de pessoas, Escola, Saúde, Organização Social, Distribuição de Água, Efluentes (Destinação), Resíduos Sólidos (Destinação), Energia elétrica (Tipo), Atividades produtivas, Fonte de renda, Fonte hídrica, Dessalinizador, Telefone de Morador.
Rota Percorrida	As rotas percorridas devem ser georreferenciadas. Tal atualização da malha viária, sobretudo nas estradas vicinais.
Área Urbana do Município	A área urbana do município deverá ser georreferenciada. Recomenda-se o georreferenciamento da sede municipal.
Poço	Município, Comunidade, Número de Pessoas, Data do georreferenciamento, Situação (Ativo ou Inativo), Uso da água, Profundidade, Nível Estático, Nível Dinâmico, Vazão, Data da análise físico-química, Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a $25^{\circ}\text{C}$ , Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez, (uT), Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L), Dureza em Cálcio, mg/L $\text{Ca}^{++}$ , Dureza em Magnésio, mg/L $\text{Mg}^{++}$ , Dureza Total, mg/L $\text{CaCO}_3$ , Sódio, mg/L $\text{Na}^{+}$ , Potássio, mg/L $\text{K}^{+}$ , Ferro Total, mg/L Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L $\text{CaCO}_3$ , Alcalinidade em Carbonatos, mg/L $\text{CaCO}_3$ , Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L $\text{CaCO}_3$ , Alcalinidade Total, mg/L $\text{CaCO}_3$ , Sulfato, mg/L $\text{SO}_4^{--}$ ,

<sup>2</sup> Para as camadas correspondentes à localidade e ao poço serão dadas a mesma coordenada e serão unificadas em um único ponto.

	Cloreto, mg/L Cl <sup>-</sup> , Nitrato, mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Nitrito, mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Sílica, mg/L SiO <sub>2</sub> , Total de Sólidos Dissolvidos Secos a 180°C, mg/L.
Dessalinizador	Município, Comunidade, Ano de instalação, Situação (Quebrado, Abandonado, em funcionamento); Responsável, Manutenção (Data da última manutenção), Número de membranas, Número de Pessoas.
Postos de Saúde	Município, Comunidade, Situação (Ativo ou inativo), Número de famílias, Nome, Forma de abastecimento.
Escola	Município, Comunidade, Situação (Ativa ou inativa), Nome, Tipo de Ensino (Básico, Fundamental ou médio), Forma de abastecimento.

### ORIENTAÇÕES COMPLEMENTARES

Além da metodologia que prevê para elaboração do banco de dados geográficos, é fundamental destacar algumas orientações complementares, são elas:

1. A análise de dados físico-químicos deverá ser pautada nos referenciais técnicos previstos na Portaria Nº 2914 do Ministério da Saúde de 12/12/2011 - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade; na Resolução 357 do CONAMA de 17/03/2005 – Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências; na Resolução 396 do CONAMA de 03/04/2005 – Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências e; Resolução 397 do CONAMA DE 03/04/2008 – Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos no art. 34 da Resolução do CONAMA no 357 de 2005.
2. As análises do solo da localidade devem servir como referência técnico de análises o que permitirá interpretação dos dados conforme as características físico-químicas do seu ambiente.
3. De acordo com a situação de cada estado e histórico de incidência de metais pesados ou outros minerais que possam ser limitadores para a qualidade da água ou das membranas do dessalinizador, a coordenação estadual deverá optar pela realização de análises para identificação destes. O estado do Rio Grande do Norte por exemplo, além das análises físico-químicas previstas para os diagnósticos, realizou outro tipo de análise e identificou presença de minerais como Urânio, Cádmiio, Bário e outros.
4. Na etapa da coleta de informações no campo o georreferenciamento deverá ser realizado com a utilização de GPS configurado com o Sistema Geodésico (SIRGAS 2000).
5. É necessário que o estado acompanhe a precisão do georreferenciamento, isto pode ser feito com amostragem e validação de campo da equipe da coordenação estadual, aproveitando as visitas *in loco*.
6. Quando finalizados os diagnósticos deverão ser enviados formalmente à Coordenação Nacional.
7. As obras não devem ser iniciadas antes da finalização e apresentação formal dos diagnósticos daquela localidade à Coordenação Nacional.

8. Será disponibilizada à Coordenação Estadual ferramenta de visualização e interpretação dos dados dos diagnósticos e análises. Todavia, para isto, é necessária a consolidação dos diagnósticos socioambientais e técnicos, testes de bombeamento e análises físico-químicas como envio à Coordenação Nacional com intervalo de no mínimo 30 dias de antecedência.

9. A análise e interpretação das informações deve ter como princípio a integração dos componentes.

## COMPONENTE DE SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO

Raniere Henrique Pereira Lira  
Márcia Liana Freire  
Shefora Elisângela Henriques

Visando o aumento da disponibilidade de água e o consequente implemento da oferta hídrica, em situações específicas, a alternativa técnico-econômica e social mais viável identificada é 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.

O bem-estar e a saúde da população tornam-se bastante significativos em função do aparecimento de água de boa qualidade. Quando a água dessalinizada começa a perder sua qualidade de potabilidade por falta de um programa de manutenção preventiva, dá-se início a um processo polêmico de ordem político-social e econômico. Como principais fontes que podem afetar a qualidade da água dessalinizada têm-se a falta de um pré-tratamento ou pré-tratamento inadequado, o uso de elementos de membranas inadequados, falta de manutenção e monitoramento, e operadores não qualificados.

Dentro deste contexto o Programa Água Doce, visa além de recuperar os sistemas de dessalinização que não se encontram funcionando, formar núcleos gestores estaduais, capazes de gerenciar e capacitar técnicos para monitorar e dar manutenção aos sistemas de dessalinização.

### INSTALAÇÃO DOS DESSALINIZADORES

- O Programa Água Doce, irá implantar em regra, dessalinizadores de três, seis e nove membranas orientado pela vazão do poço.
- Análise dos projetos executivos resultante dos diagnósticos das comunidades.
- Análise do termo de referência e dos contratos com as empresas de dessalinização.
- Exigir da empresa contratada o certificado de qualidade das membranas a serem fornecidas, informando o tipo/modelo. As membranas devem ter certificação Padrão NSF/ANSI internacional.
- Exigir da empresa contratada o projeto de simulação do dessalinizador em software do fabricante das membranas;
- Exigir da empresa contratada o projeto de simulação da dosagem de anti-incrustante em software do fabricante da membrana ou do anti-incrustante.
- Fazer projeto do equipamento de dessalinização utilizando o software das membranas que serão utilizadas pela empresa contratada para realizar análise comparativa com os projetos apresentados pela empresa.
- Planejar o acompanhamento da instalação dos dessalinizadores pelos técnicos e consultores do estado.

- Realizar reuniões periódicas entre empresa e coordenação estadual.
- Elaborar cronograma de instalação dos equipamentos de dessalinização de acordo com a execução das obras civis.
- Estabelecer prazo para instalação de cada dessalinizador a partir da emissão da ORDEM DE SERVIÇO (ver modelo em anexo).
- Buscar a orientação da Coordenação Nacional do PAD.

### **DIMENSIONAMENTO DA BOMBA DO POÇO**

- Utilizar os resultados do teste de bombeamento realizado na etapa de diagnóstico para dimensionar a bomba do poço (fonte hídrica do dessalinizador).
- A profundidade em que a bomba (submersível) será posicionada dentro do poço deve ser calculada com base nos resultados do teste de bombeamento que devem apresentar os dados de nível estático e profundidade do poço.
- A potência da bomba deve ser dimensionada para a Vazão Máxima apresentada no teste de bombeamento e a Altura Manométrica Total (ATM) considerando a soma do desnível geométrico mais as perdas de carga em toda linha de recalque e sucção.

### **EQUIPAMENTO DE DESSALINIZAÇÃO**

- Os projetos devem ser elaborados considerando as análises de água de poços coletadas e realizadas durante a fase de diagnóstico nas comunidades e devem ser considerados os íons específicos, conforme parâmetros estabelecidos na página 190 do documento base.
- As análises devem considerar as ocorrências de espécies químicas de cada região diagnosticada de acordo com parâmetros estabelecidos para análise da fonte de alimentação do dessalinizador descritos na página 179 do documento base.
- O projeto do equipamento deve considerar em primeiro lugar, a qualidade da água de alimentação (parâmetros físico-químicos e microbiológicos), a vazão de alimentação e a demanda por água potável da comunidade.
- Ao se definir a vazão de alimentação do equipamento devem-se considerar os usos da fonte hídrica (poço) que deverão ter sido identificados durante a fase de diagnóstico na comunidade.
- O projeto do equipamento deve ter como objetivo, para um dado fluxo do permeado, minimizar os custos com a pressão de alimentação e membranas enquanto a recuperação do sistema e a qualidade do permeado são otimizadas.
- A recuperação é dada pelo percentual da alimentação que é convertido em permeado pelo dessalinizador e pode ser expresso:

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

Onde:  $Q_p$  é a vazão do permeado,  $Q_a$  é a vazão de alimentação e  $Q_c$  é a vazão do concentrado.

- O desempenho do sistema sempre deve ser mensurado em função do fluxo do permeado e da taxa de rejeição de sais, que dependem diretamente da composição da água de alimentação, pressão aplicada no sistema, temperatura e recuperação do sistema.
- As membranas comerciais recomendadas são aquelas que possuem certificação padrão NSF/ANSI internacional e programas computacionais que permitem aperfeiçoar o projeto do equipamento.
- Dentre os exemplos de membranas que atendem estes requisitos podemos citar: FILMTEC, HIDRANAUTICS, GE-OSMONICS, TORAY, KOCH e LEWABRANE.
- 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.

$$N_E = \frac{Q_p}{f \cdot S_E}$$

Onde:  $N_E$  é o número de elementos de membranas,  $Q_p$  é a vazão do permeado ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $f$  é o fluxo de projeto ( $\text{l}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) e  $S_E$  é a área ativa da superfície do elemento de membrana selecionado ( $\text{m}^2$ ).

- O número de vasos deve ser calculado considerando o número de elementos de membranas e o número de elementos por vaso, conforme equação seguinte:

$$N_V = \frac{N_E}{N_{EpV}}$$

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.

- Os projetos dos equipamentos devem ser elaborados utilizando os softwares dos fabricantes de membranas, como por exemplo: ROSA 7.2.2, 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.

## PÓS-TRATAMENTO QUÍMICO DA ÁGUA PERMEADA

- O pós-tratamento químico da água permeada vem atender a:  
**PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011**  
**Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.**  
*Art. 34. É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).*
- O processo de desinfecção mais aplicado nos sistemas de abastecimento de água, em todo o mundo, é o que emprega o cloro ou produtos à base de cloro como agentes desinfetantes. Foi introduzido massivamente no último século, no tratamento da água como complemento do processo de filtração que já era conhecido e utilizado, constituindo, assim, uma revolução tecnológica no tratamento da água.
- O uso de derivados clorados de origem orgânica, o ácido tricloroisocianúrico e principalmente o dicloroisocianurato de sódio, nos sistemas de dessalinização (água permeada), foi escolhido e é o mais indicado em função da praticidade no manuseio, medição, transporte e armazenamento, maior solubilidade, maior período de validade, dosagem mais precisa, menor risco químico (corrosividade), a não formação de subprodutos em níveis significativos, a não existência de odores e sabores característicos na água.

## ORIENTAÇÃO PARA AQUISIÇÃO DO SISTEMA DE PÓS-TRATAMENTO

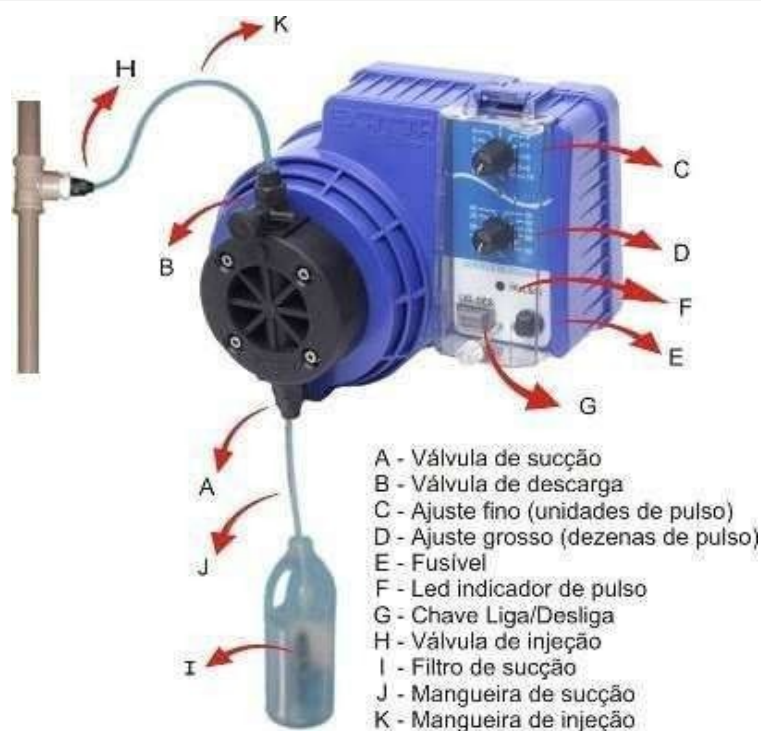
- 01 (uma) bomba dosadora eletromagnética para cloro líquido orgânico, com fluxo ajustável, força e pulsos indicados por LEDs, proteção IP65, filtro em polipropileno, válvulas labiais em silicone ou EPDM, válvula de injeção em polipropileno, diafragma em EPDM, cabeçote em polipropileno, nipples em polipropileno e vedações em silicone o EPDM.
- Ou seja, bomba construída em materiais termoplásticos específicos para suportar produtos quimicamente agressivos, ácidos ou alcalinos (sempre especificar que é para cloração de água para consumo humano).
- O Circuito eletrônico deve ser de alta precisão e a prova de explosão, para assegurar vazão constante ao longo do tempo.
- O Acionamento deve ser magnético, eliminando peças rotativas garantindo longa vida útil e sem a necessidade de lubrificação.
- Vazão máxima de 30 litros/hora com ampla escala de regulação do fluxo desde 0 até 100%. A pressão máxima de trabalho é de 4 a 13 bar.
- 01 (um) recipiente de polietileno (bombona) com capacidade para 50 litros.
- 01 (uma) bombona de 5 kg de cloro orgânico granulado, para água para consumo humano.



## EXEMPLOS DE MODELOS DE BOMBAS DOSADORAS



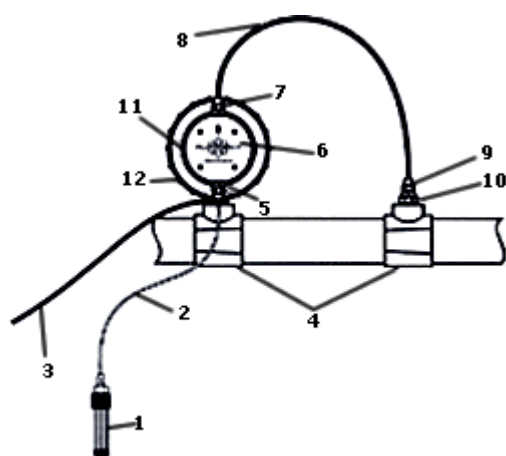
## INSTALAÇÃO DE BOMBA DOSADORA



- A válvula de injeção (H) deverá ser colocada direto no reservatório do permeado, em nível diferente da tubulação do permeado, para que o gás cloro não retorne para as membranas.

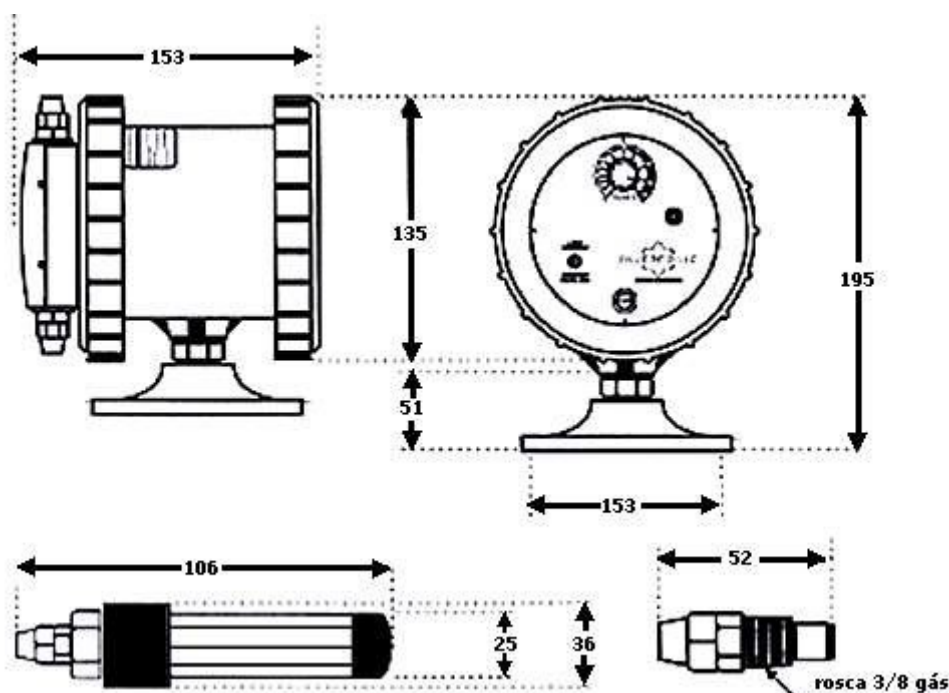


## DESCRIÇÃO DA BOMBA DOSADORA



- 1 - Filtro
- 2 - Mangueira de sucção
- 4 - Colar de Tomada de água
- 5 - Válvula de sucção
- 6 - Cabeçote
- 7 - Válvula de descarga
- 8 - Mangueira de descarga
- 9 - Válvula de injeção
- 10 - Bucha de redução de 1/2" / 3/8"
- 11 - Painel de Cabeçote
- 12 - Porca de vedação

## DIMENSÕES DA BOMBA DOSADORA E SEUS COMPONENTES



## ORIENTAÇÕES PARA ANÁLISE DE CLORO LIVRE

Cloro (livre e total) / Hipoclorito

Método: DPD

Referências: USEPA Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, Method 330.5 (1983). APHA Standard Methods, 21<sup>st</sup> ed., Method 4500-Cl G (2005).

*Cloro* - Na metodologia DPD, aprovada pela USEPA, o cloro livre reage com o reagente DPD (N,N-di-etil-p-fenilenediamina) desenvolvendo uma tintura rósea. Quando amônia

ou aminas estão presentes na amostra, parte do cloro pode existir como cloro combinado. O cloro combinado não irá interferir nos resultados de cloro livre, desde que as leituras dos resultados sejam feitas no tempo determinado de um minuto. Para determinar o cloro total (a soma de livre e combinado), use a solução acessória "A-2500 Activator Solution" (iodeto de potássio), fornecida no kit, para preparação prévia da amostra. Os resultados são expressos em ppm (mg/l)  $\text{Cl}_2$ .

Podemos também utilizar os kits encontrados no mercado, tais como:

#### KIT PARA AFERIR CLORO RESIDUAL



#### FICHA PARA PEDIDO DE FORNECIMENTO DE DESSALINIZADOR

Fornecimento e instalação de dessalinizador no abrigo da comunidade \_\_\_\_\_ no município\_\_.

##### Especificações Técnicas para o dessalinizador:

Considerando a composição físico-química das águas dos poços da *comunidade indicada*, conforme documento anexo, o dessalinizador deve apresentar os seguintes componentes:

1. Produção de água dessalinizada =  $1 \text{ m}^3/\text{h}$
2. Vasos de alta pressão:

**03 (três)** vasos de alta pressão completos de fibra de vidro reforçado, diâmetro interno de 4", composto com molas elásticas, tampas (ou espelhos), etc., cada um com capacidade de encapsular 02 elementos de membranas.

3. Membranas:

**06 (seis)** elementos de membranas de osmose inversa de alta rejeição (percentual de rejeição de sais 99,5%), modelo espiral *TFC*. Cada elemento de membrana apresentando uma área de 78 ft<sup>2</sup>, *GPD* = 2400 com diâmetro de 4" e comprimento de 40".

Limites de operação:

- Temperatura máxima de operação: 45°C
- Pressão máxima de operação: 41 bar
- Fluxo máximo de alimentação: 3,6 m<sup>3</sup>/h
- SDI máximo (15 min): 5
- Faixa de pH durante operação: 2 – 11
- Faixa de pH durante limpeza química: 1 – 13

4. Pré-tratamento químico composto de:

01 (uma) bomba dosadora para solução de anti-incrustante, com fluxo ajustável, força e pulsos indicados por LEDs, proteção IP65, com filtro em polietileno, válvulas em Viton, diafragma em P.T.F.E. e válvula de injeção em polipropileno;

01 (um) recipiente de polietileno (bombona) com capacidade para 50 litros;

01 (uma) bombona de 25 kg do produto químico anti-incrustante concentrado e aprovado pelo fabricante das membranas.

5. Pré-tratamento físico composto de:

**04 (quatro)** carcaças para filtros de cartuchos de polipropileno, com 30 cm de comprimento;

1 (uma) caixa contendo 30 unidades de elementos de filtros de cartuchos de polipropileno de 5µm, com 25 cm de comprimento;

6. Medidores de pressões:

2 (dois) manômetros glicerizados, com caixa em aço inox, diâmetro de 63 mm, para painel, apresentando a faixa de (0,0 a 4,0) kgf/cm<sup>2</sup>;

02 (dois) manômetros glicerizados, com caixa em aço inox, diâmetro de 63 mm, para painel, apresentando a faixa de (0,0 a 20,0) kgf/cm<sup>2</sup>.

7. Medidores de vazão:

01 (um) medidor de vazão tipo rotâmetro, com flutuador e eixo em inox, com faixa de leitura variável de (0 a 35) L/min para o permeado;

01 (um) medidor de vazão tipo rotâmetro, com flutuador e eixo em inox, com faixa de leitura variável de (0 a 35) L/min para o concentrado.

8. Bomba auxiliar:

01 (uma) bomba centrífuga horizontal, com carcaça e rotor em termoplástico de engenharia reforçado com fibra de vidro, eixo em aço inox, **monofásica**, 1/2CV.

9. Bomba de alta pressão:

10. 01 (uma) bomba de alta pressão multiestágios de 3,0 CV, contendo 28 estágios, **monofásica**, com intermediário, eixo e carcaça em aço inox.

11. Sistema de Proteção:

01 (um) pressostato para proteção da bomba de alta pressão com *switch* para desligamento automático em caso de falta de água. O pressostato deve ter as seguintes características: Pressão operacional admissível – 18 bar; faixa de regulagem 0,2 a 8,0 bar; diferencial ajustável – 0,5 a 2,0 bar.

12. Sistema de retrolavagem:

01 (uma) bomba centrífuga horizontal, **monofásica**, 1/3CV, com carcaça e rotor em termoplástico de engenharia reforçado com fibra de vidro;

01 (uma) bombona de plástico com tampa, de 80 litros para armazenamento de água permeada.

13. Sistema elétrico:

01 (um) painel elétrico completo para comando de operação, com proteção de sobrecarga para os motores, com disjuntor, relé falta de fase, relés térmicos para os motores-bombas, contactor geral e para os motores-bombas, botoeiras Liga/Desliga/Sinaleiras, amperímetro e voltímetro.

14. Tubulações:

Tubulação de baixa pressão em PVC de 32 mm;

Tubulação de alta pressão em CPVC ou PPR de 28 mm.

15. Estrutura metálica construída em aço carbono com pintura epóx contra corrosão, composta com quatro “vibra-stop”:

A base da estrutura feita com cantoneira de 3” x 3/16”, perfil “U”. A estrutura confeccionada com cantoneira de abas iguais de 2” x 3/16”.

16. Pós-Tratamento

Sistema dosador de cloro constituído por: 01 (uma) bomba dosadora eletromagnética para cloro líquido orgânico, com fluxo ajustável, força e pulsos indicados por LEDs, proteção IP65, filtro em polipropileno, válvulas labiais em silicone ou EPDM, válvula de injeção em polipropileno, diafragma em EPDM, cabeçote em polipropileno, nipples em polipropileno e vedações em silicone o EPDM.

Ou seja, bomba construída em materiais termoplásticos específicos para suportar produtos quimicamente agressivos, ácidos ou alcalinos (sempre especificar que é para cloração de água para consumo humano).

O Circuito eletrônico deve ser de alta precisão e a prova de explosão, para assegurar vazão constante ao longo do tempo.

O Acionamento deve ser magnético, eliminando peças rotativas garantindo longa vida útil e sem a necessidade de lubrificação.

Vazão máxima de 30 litros/hora com ampla escala de regulação do fluxo desde 0 até 100%. A pressão máxima de trabalho é de 4 a 13 bar.

01 (um) recipiente de polietileno (bombona) com capacidade para 50 litros.

01 (uma) bombona de 5 kg de cloro orgânico granulado, para água para consumo humano.

Manter o residual de cloro livre mínimo de 0,2 mg/L no reservatório do permeado, em atendimento a Portaria 2914/2011 MS.

#### **Prazo de entrega e instalação:**

O equipamento deverá ser entregue e instalado no local em no máximo 30 (trinta) dias corridos após a solicitação, juntamente com manual de operação e termo de garantia do dessalinizador em português.

A instalação do dessalinizador será na **comunidade indicada posteriormente**, sendo realizada por um técnico da empresa fornecedora do dessalinizador.

#### **Garantia:**

O prazo de garantia do equipamento deverá ser de, no mínimo, 12 meses, incluindo os motores-bombas, a partir da instalação do dessalinizador.

#### **Capacitação dos operadores dos sistemas:**

A empresa deverá treinar os operadores dos sistemas de dessalinização no ato da instalação do dessalinizador.

#### **Manutenção dos dessalinizadores**

A contratada deverá prestar serviços de manutenção preventiva nos dessalinizadores durante o período de 12 meses, a contar da data de instalação.

#### **Informações Adicionais:**

A empresa deverá apresentar indispensavelmente, juntamente com a proposta, para análise pelos técnicos do Programa Água Doce:

1. Termo de Garantia e manual do dessalinizador e Assistência Técnica;
2. Certificados de qualidade das membranas a serem fornecidas informando o tipo/modelo e do tipo de antiincrustante. As membranas e o antiincrustante deverão ter certificação *Padrão NSF/ANSI International* em suas respectivas categorias.
3. Projeto de simulação do dessalinizador em *software* do fabricante das membranas;
4. Projeto de simulação da dosagem de anti-incrustante em *software* do fabricante do anti-incrustante.

- **As membranas deverão ser instaladas no local, na presença de um técnico do Programa Água Doce.**

- Os custos de transporte, instalação, hospedagem e alimentação, impostos e tributos deverão estar inclusos no valor da proposta.

CIDADE, DIA de MÊS de ANO

**Análise Físico-Química:**

ANEXAR A ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA

**Teste de Vazão**

**Nº de famílias beneficiadas**



## COMPONENTE DE OBRAS CIVIS

Alexandre Saia  
Danillo Jonnes  
José Tumé Lima

A água para consumo humano é uma das grandes limitações para permanência das pessoas na zona rural do semiárido brasileiro. Atualmente a região possui um elevado número de poços tubulares, cuja execução é resultado, em sua grande maioria, de programas públicos de acesso a água. As águas desses poços frequentemente apresentam-se salobras ou salinas, resultado de sua localização no embasamento cristalino, cujas águas têm sua composição de sais alterada pela intemperização das rochas.

Uma alternativa para viabilização do uso dessas águas para o consumo humano é a dessalinização por osmose reversa, que se encontra em expansão na região. Por sua comprovada eficiência quanto à relação custo/quantidade de água dessalinizada, a osmose reversa se destaca entre os outros processos de dessalinização e já vem sendo utilizada em várias comunidades no Nordeste do Brasil. O seu crescente desenvolvimento e utilização poderão trazer impactos ambientais devido aos seus subprodutos ou concentrados, isto é, águas com elevados teores de sais que estão sendo despejadas no solo, que, além de contaminarem mananciais subterrâneos, poderão ser transportados pela ação dos ventos ou pela água de escoamento superficial provocando a salinização de outros reservatórios superficiais e áreas mais próximas.

Para isso o Programa Água Doce vem desenvolvendo métodos para viabilizar o uso dessa água sem agredir o meio ambiente, ou pelo menos, amenizando os efeitos negativos sobre o meio, através da construção de tanques de contenção do concentrado e na instalação da estrutura física destinada ao aproveitamento do concentrado da dessalinização.

### ORIENTAÇÕES PARA GERENCIAMENTO DAS OBRAS

- Procedimentos prévios ao início das obras;
- Planejar o acompanhamento dos técnicos do estado;
- Reuniões periódicas entre empresa e coordenação estadual;
- Verificar as condições mínimas para início das obras (equipe, equipamentos, EPIs e materiais);
- Detalhamento do contrato quanto ao prazo e condições de execução;
- Análise dos projetos e termo de referência;
- Verificar o detalhamento do projeto executivo. Projeto deve conter implantação, cortes, fachadas, detalhes, instalações elétricas e hidráulicas de todas as estruturas a serem construídas, além de memorial descritivo completo;
- Cronograma de execução detalhado ao nível das etapas;
- Prazo para execução de cada sistema a partir da emissão da OS;
- Buscar a orientação da Coordenação Nacional do PAD;
- Implantação de um sistema piloto (1ª obra no estado), com o acompanhamento dos técnicos da Coordenação Nacional;



- A empresa executora deverá dar o destino correto a todo o resíduo gerado no decorrer da exceção da obra. Deverão ser consultadas as prefeituras sobre os locais autorizados para disposição destes resíduos.

### **CONSTRUÇÃO DOS TANQUES DE CONTENÇÃO DO CONCENTRADO**

- Os tanques de contenção do concentrado deverão ser locados a uma distância segura das construções próximas existentes. A base do talude do aterro dos tanques deve estar distante, no mínimo, 5 (cinco) metros de qualquer construção existente;
- Entre a face interna da cerca do tanque e a base do talude do aterro do tanque deve ser prevista uma faixa de circulação de, no mínimo, 3 (três) metros para circulação de veículos de carga;
- Para acesso ao tanque deve ser previsto um portão com dimensões que permitam a entrada de veículos de carga;
- O cercamento será com alambrado de mourões de concreto tipo ponta virada;
- As mantas de revestimento dos tanques devem possuir a identificação “tanque de concentrado”;
- Conforme estabelecido no Documento Base do PAD a técnica de construção dos tanques consiste na escavação do solo até a profundidade de 1m. O solo escavado é utilizado na construção dos taludes externos do tanque, com altura de 1m, o que resulta na profundidade final de 2m. Caso o terreno não apresente a cobertura mínima de 1m de solo para escavação sobre o embasamento cristalino, será permitida a importação de solo para construção dos taludes até a distância máxima de 10km, incluindo escavação, transporte e descarga deste solo no local da obra. O solo importado deverá apresentar boa qualidade para aterro, isento de substâncias orgânicas. Para construção do aterro o material importado será convenientemente umedecido e compactado em camadas de no máximo 20cm;
- Caso a escavação esbarre em algum tipo de rocha, deverá ser construído um colchão com areia, ou material semelhante, com o propósito de minimizar as partes pontiagudas apresentadas no solo;
- Considerando o dimensionamento do número de tanques, que deverá ser realizado obedecendo a metodologia do PAD, o tanque de contenção do concentrado passa a contar com o módulo  $\frac{1}{2}$  tanque, com volume de 284m<sup>3</sup> e cujas dimensões são apresentadas abaixo. Portanto, poderão ser implantados os tanques padrão (12x30m) acompanhados de  $\frac{1}{2}$  módulos, conforme o dimensionamento determinar, em função da pluviometria, evaporação, volume de concentrado produzido e volume de concentrado utilizado pela comunidade.



## Dimensão do tanque: flexibilização



**OBS.: O FORMATO DO TANQUE NÃO SERÁ ALTERADO, APENAS A DIMENSÃO LONGITUDINAL COMO PROPOSTA DE SE CRIAR UM MÓDULO DE ½ TANQUE, COM VOLUME ÚTIL DE 284m³**

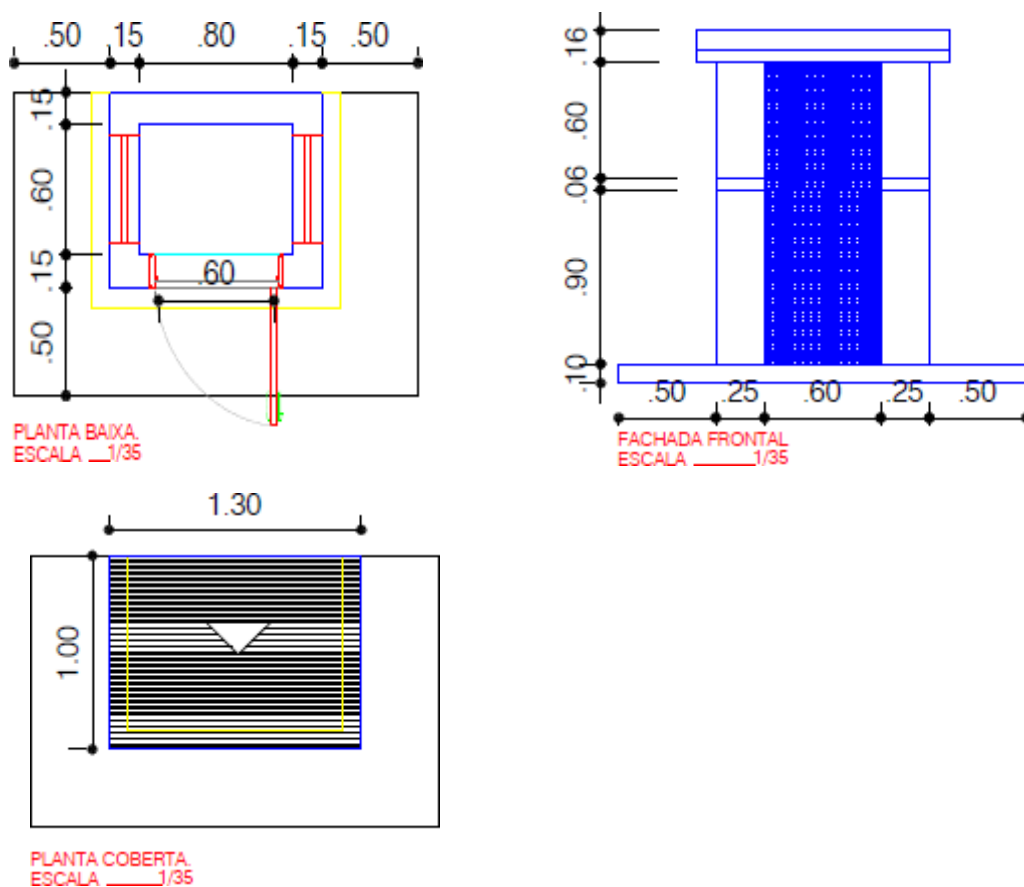
### CONSTRUÇÃO DO ABRIGO DO DESSALINIZADOR

- O abrigo do dessalinizador deve possuir as dimensões mínimas de 5x3m, conforme padrão do Documento Base do PAD. Essas dimensões mínimas facilitam a instalação e manutenção do dessalinizador. A dimensão maior do abrigo (fachada) deve possuir, no mínimo, 5 (cinco) metros de extensão. A porta de acesso deve ser posicionada na face lateral do abrigo de forma a facilitar a instalação e manutenção do equipamento dessalinizador;
- Os elementos vazados de ventilação (cobogós) deverão ser protegidos com tela tipo mosquiteiro (metálica) para evitar o acesso de animais;
- Os sistemas que adotaram portão metálico de acesso ao abrigo do dessalinizador também deverão protegê-lo com tela tipo mosquiteiro;
- A orientação e que seja utilizada porta de madeira maciça, conforme padrão do Documento Base do PAD;
- A ligação do dessalinizador à rede elétrica deve ser realizada por tomada localizada na parede do abrigo, acima do piso. Para facilitar a operação e manutenção, a ligação pode ser realizada por meio de eletroduto rígido que sai do teto do abrigo até a parte superior do dessalinizador;
- Para iluminação externa do abrigo do dessalinizador deve ser utilizado um modelo adequado de luminária, tipo arandela;
- Os acabamentos dos revestimentos internos e externos devem ser melhorados. Verificou-se que as argamassas de revestimento não apresentam acabamento uniforme, talvez pela falta de areia fina na composição. Os revestimentos cerâmicos também devem ser melhorados no acabamento, principalmente onde há passagem de tubulações e no rejunte das peças

cerâmicas. O abrigo é uma estação de tratamento de água e um acabamento adequado é garantia de higiene e conforto para os usuários;

- A pintura das paredes será em tinta látex PVA branca (interna) e Acrílica branca (externa). A parede externa receberá um barrado com tinta tipo esmalte sintético na cor azul Del Rey, com altura de 1,20m;
- Considerando a instalação de uma bomba dosadora de cloro, para acomodar o reservatório de cloro será construída uma estrutura anexa ao abrigo, com abertura externa. Apresentamos abaixo uma sugestão de abrigo.

### SUGESTÃO DE ABRIGO PARA O RESERVATÓRIO DE CLORO



### RESERVATÓRIOS

- No momento da locação dos reservatórios (caixas d'água), verificar a possibilidade de evitar a instalação dos mesmos na fachada do abrigo do dessalinizador. Se possível, agrupar os três reservatórios na parte lateral ou posterior do sistema, para não prejudicar o acesso. Os reservatórios deverão ser identificados com adesivos ou pintura (água bruta, concentrado e água doce).

### CHAFARIZ

- As considerações para melhoria do acabamento servem também para o chafariz. Os revestimentos cerâmicos também devem ser melhorados no acabamento, principalmente onde há passagem de tubulações e no rejunte das

peças cerâmicas. O chafariz é o local de fornecimento da água à população e um acabamento adequado é garantia de higiene e conforto para os usuários;

- A luminária do chafariz deve ser modelo externo – tipo arandela;
- O chafariz conterá apenas as torneiras de água doce;
- A água bruta e o concentrado serão fornecidos fora do chafariz, em estrutura a ser construída em local definido com a comunidade. Para a água bruta será construída uma estrutura composta de parede de alvenaria, revestida com cerâmica, com altura de 1,00m, largura de 0,80m, com mangueira e registro na torneira para permitir a carga em carroças;
- As torneiras de água bruta e concentrado devem ser equipadas com mangueiras para distribuição de água em grandes recipientes;
- As mangueiras devem possuir registro na extremidade, conforme figura da página 95 do Documento Base do PAD (3ª foto);
- Os sistemas deverão receber um bebedouro para animais. O estado deve utilizar o modelo padrão de bebedouro para os tipos de animais existentes.

#### **ORIENTAÇÕES PARA GARANTIR A QUALIDADE DE OBRA**

- Qualidade dos materiais, exigências do termo de referência e normas técnicas;
- Concreto deve ser misturado em betoneira. Não será admitido concreto misturado manualmente. Muita atenção para o traço a ser utilizado;
- É exigido o uso de água potável na obra. Não será permitido o uso de água bruta do poço ou de qualquer fonte que seja considerada salobra ou salina;
- A areia a ser empregada em concretos e argamassas deve ser quartzosa, pura, isenta de matéria orgânica, argilas e sais;
- A pedra britada deve ser constituída de fragmentos de rocha granito ou gnaiss, de origem industrial, isenta de substâncias terrosas, pó de pedra e sem conter excessos de fragmentos em forma lamelar ou angular. As dimensões devem ser compatíveis com o serviço proposto;

- Qualidade dos revestimentos (cerâmicos e pintura). Podem variar as dimensões do revestimento cerâmico desde que se mantenha a qualidade e resistência;
- Qualidade do material a ser utilizado nos aterros. Controle da compactação e acabamento dos diques dos tanques de contenção do Concentrado.

### LOCAÇÃO DOS TANQUES



### ESCAVAÇÃO COM MÁQUINAS



### IMAGENS DO ACABAMENTO MANUAL DOS TALUDES





## IMAGENS DO ACABAMENTO MANUAL DOS TANQUES



## ANCORAGEM DA GEOMEMBRANA DE PVC

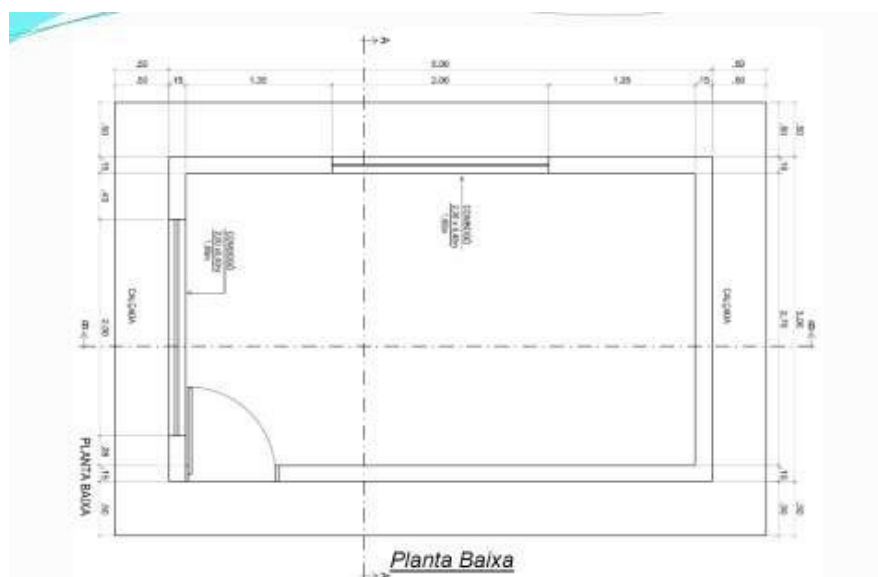


## ABRIGO DE PROTEÇÃO DO DESSALINIZADOR

- Dimensões: 5,00 x 3,00 metros;
- Pé direito: 2,60 metros (menor)  
3,00 metros (maior)
- Laje de concreto armado;
- Cobertura em telha cerâmica;
- Revestimento interno: Azuleijo branco 20x20 cm (paredes), altura 1,60 metros, cerâmica branca, PEI ≥ 3 (Piso).

- Pintura interna: Tinta latex; Tinta latex PVA branca (02 demãos);
- Pintura externa: Tinta latex acrilica branca (02 demãos);  
Esmalte sinét. Azul Del Rey (Faixa com 1,20 metros de altura)

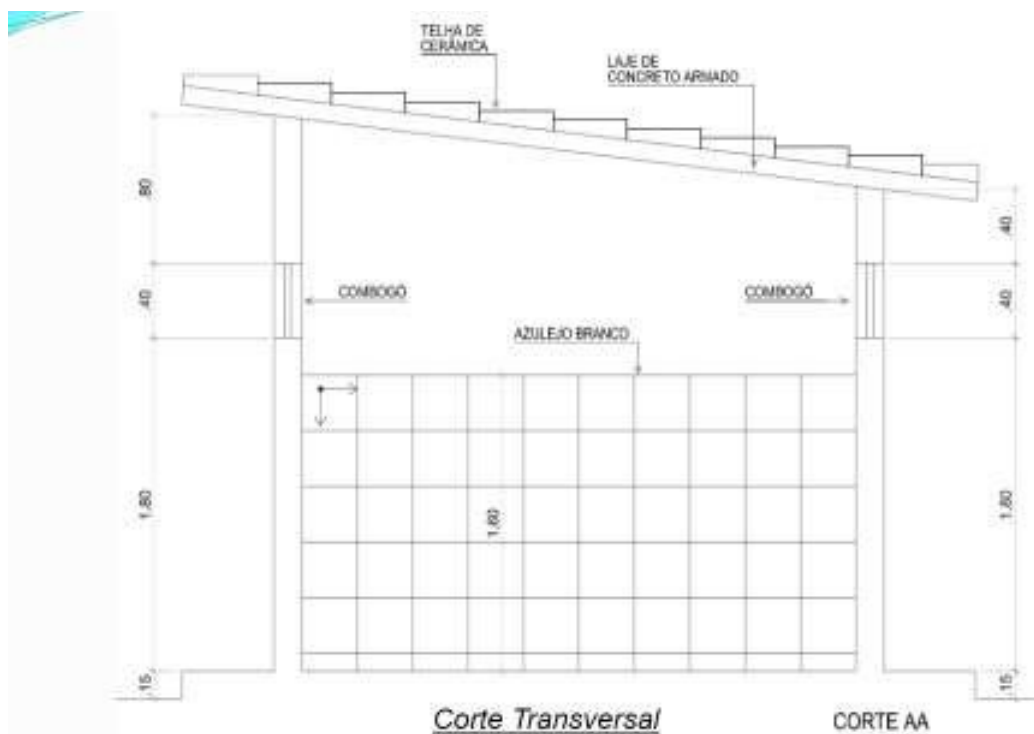
### PLANTA BAIXA DO ABRIGO DO DESSALINIZADOR



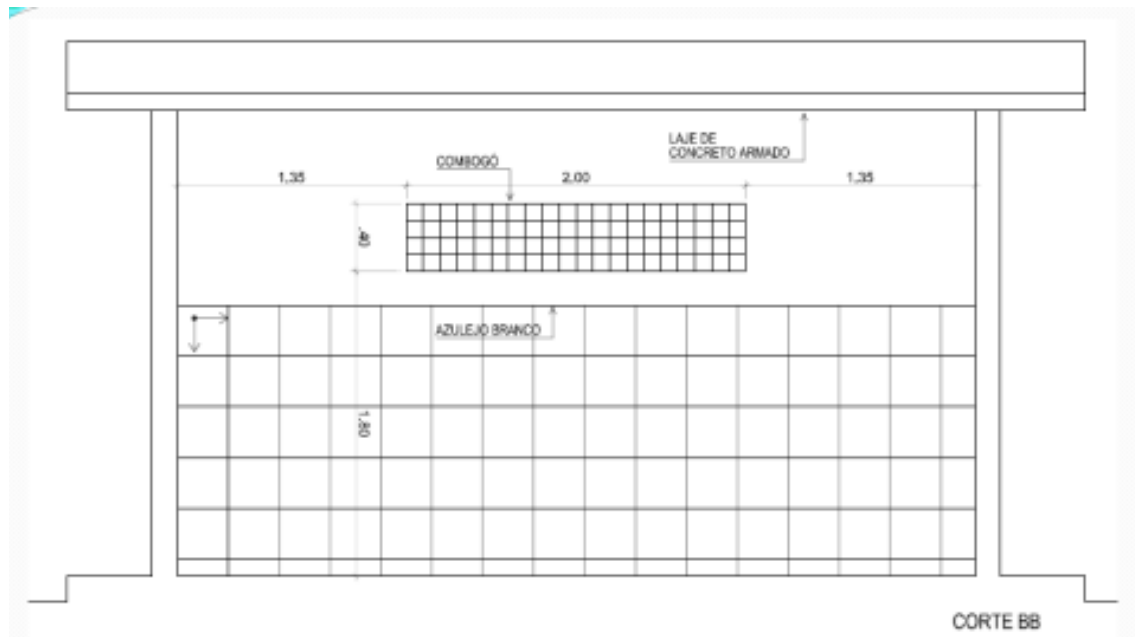
Ministério do  
Meio Ambiente

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

### CORTE TRANSVERSAL



## CORTE LONGITUDINAL



## FOTOS DO ABRIGO DO DESSALINIZADOR

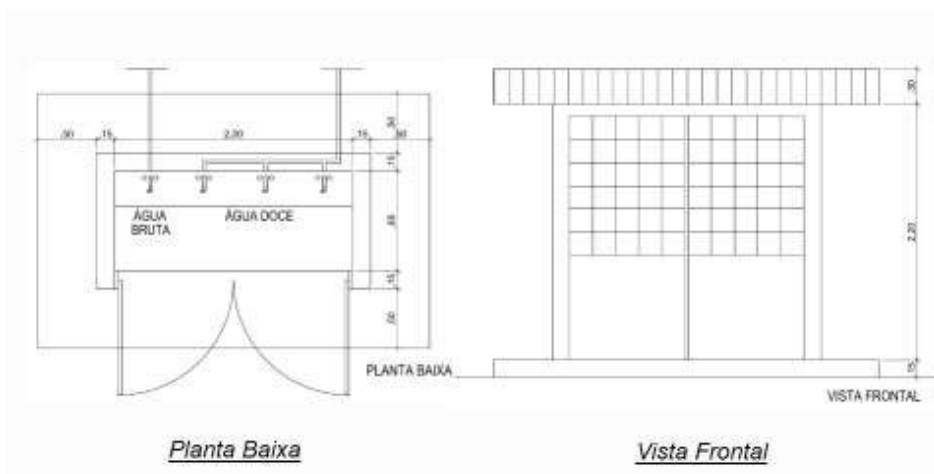


Fotos do Abrigo do Dessalinizador

## CHAFARIZ

- Dimensões: 2,00 x 1,00 metros;
  - Pé direito: 2,02 metros;
  - Laje de concreto armado;
  - Cobertura em telha cerâmica;
  - Revestimento interno: Revestimento interno: Azulejo branco 20x20 cm (paredes), altura 1,60metros, cerâmica branca, PEI≥ 3(Piso).
  - Pintura interna: Tinta latex; Tinta latex PVA branca (02 demãos);
  - Pintura externa: Tinta latex acrilica branca (02 demãos);
- Esmalte sinét. Azul Del Rey (Faixa com 1,20 metros de altura)

## PLANTA BAIXA E VISTA FRONTAL DO CHAFARIZ



Planta Baixa

Vista Frontal



## FOTOS DO CHAFARIZ



*Fotos do Chafariz*



## FOTOS DO CHAFARIZ ELETRÔNICO

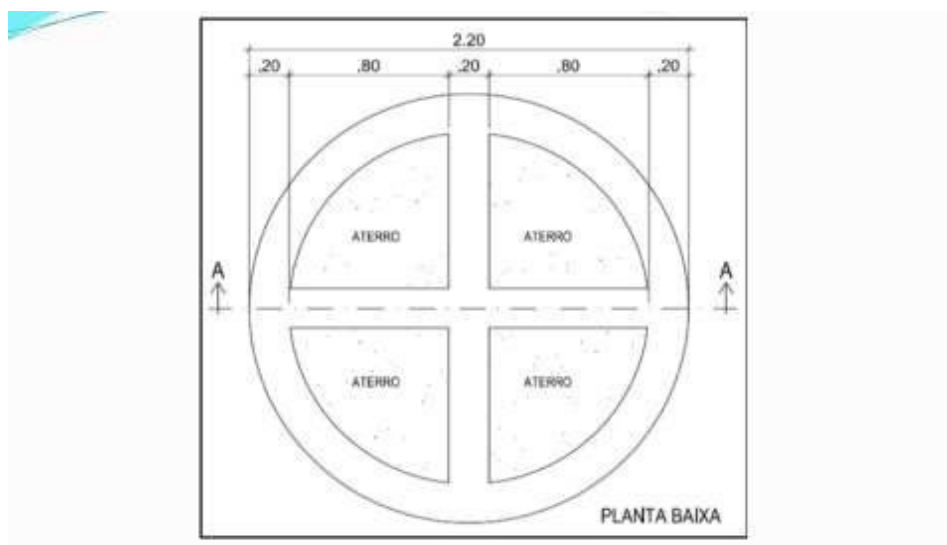


## RESERVATÓRIOS DE ÁGUA BRUTA E ÁGUA DESSALINIZADA

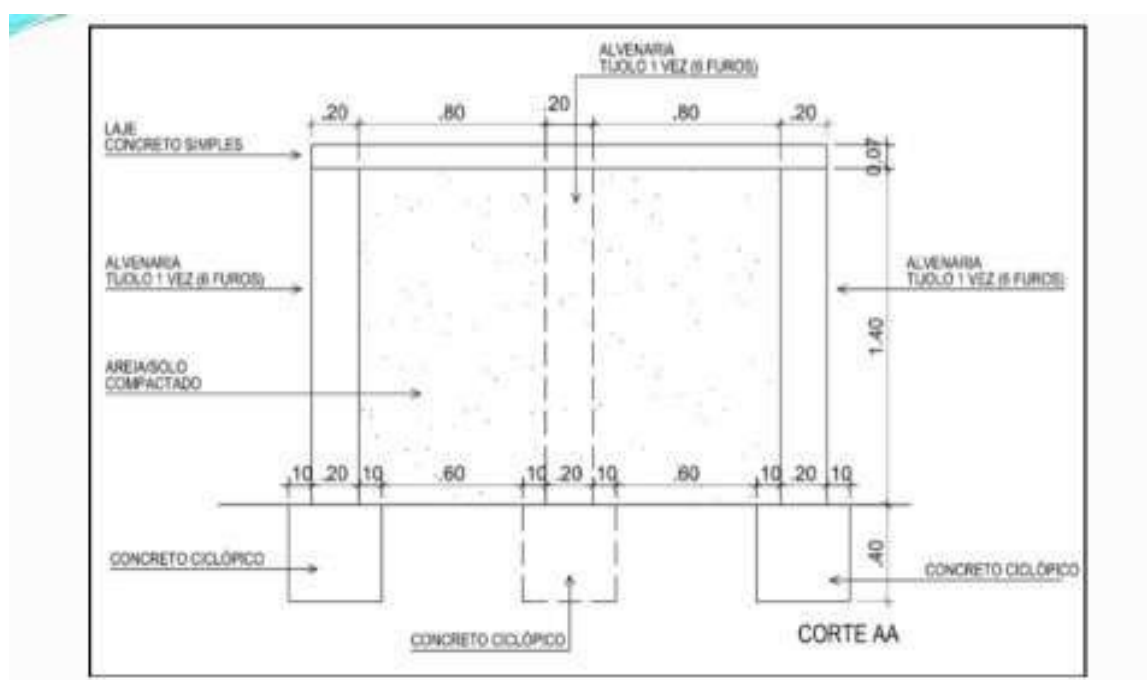
Base para os reservatórios:

- Dimensões: Ø 2,20 metros (externo)  
Ø 1,80 metros (interno)
- Altura: 1,40 metros;
- Laje do concreto simples (7cm);
- Alvenaria de ½ vez;
- Aterro interno compactado manualmente.

## PLANTA BAIXA DOS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA BRUTA E ÁGUA DESSALINIZADA



## CORTE TRANSVERSAL PARA RESERVATÓRIOS



## FOTOS DAS BASES DOS RESERVATÓRIOS



### CERCAMENTO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO

- Distância entre estacas: 2,00 metros (entre eixos);
- Estacas de concreto com 2,00 metros de altura e ponta virada;
- Tela de arame galvanizado para alambrado;
- Mureta em alvenaria com 0,40 m de altura.

### FOTOS DO CERCAMENTO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO



## COMPONENTE DE MOBILIZAÇÃO SOCIAL

Else Farias Albuquerque

As ações do Componente Mobilização Social do PAD, integradas às atividades dos componentes técnico e ambiental, focalizam a construção de mecanismos de gestão – chamados de “Acordos”.

Estas ações objetivam o estabelecimento de bases sólidas de cooperação e participação social na gestão dos sistemas de dessalinização (poço – dessalinizador – destino adequado do concentrado salino) e dos sistemas produtivos a serem implantados (criação de peixes – cultivo da erva-sal (*Atriplex numulária*) – produção de alimento para caprinos e ovinos), garantindo não apenas a oferta de água de boa qualidade em regiões historicamente sacrificadas pela seca mas, também, a viabilidade de alternativas de geração de renda que se integrem às dinâmicas locais.

A seguir algumas orientações para subsidiar as ações do Componente. Elas serão divididas em etapas, considerando as fases I, II e III, para melhor compreensão.

### FASE I – DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL

O diagnóstico socioambiental é realizado com os demais componentes e devem ser observadas as informações que vão implicar na escolha das comunidades e na construção dos Acordos de Gestão. Nesse sentido, é importante que se observe: as características do poço (vazão); os usos habituais da água do poço (considerar se ela é utilizada para dessedentação animal, usos domésticos secundários, se possui adução para as residências); a energia (se tem queda de tensão que prejudique o funcionamento do dessalinizador) e a condutividade elétrica. Importante ainda informar que podem ocorrer mudanças nos terrenos indicados para construção dos equipamentos quando as obras tiverem início.

Algumas recomendações são importantes nessa fase que, quando observadas, podem contribuir para uma gestão dos sistemas. São elas:

Nas visitas às prefeituras, utilizar o folder do Programa enfatizando os sistemas simples, uma vez que os mesmos dão maior visibilidade às UD's.

Buscar informações com os Agentes Comunitários de Saúde - ACS, nas unidades de saúde e nas escolas.

Na conversa inicial com os gestores municipais, evidenciar a contrapartida da prefeitura principalmente no que se refere a aquisição da documentação e na cogestão dos sistemas, considerando a possibilidade de pagamento de energia e gratificação do operador. Pedir que seja indicada, pelo gestor, o secretário que vai acompanhar as ações do PAD em todas as fases.

### FASE II – CONSTRUÇÃO DOS MECANISMOS DE GESTÃO DOS SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO E DAS UNIDADES PRODUTIVAS DE APROVEITAMENTO DO CONCENTRADO

Nessa fase as ações serão iniciadas respeitando o início das obras. Aqui serão realizadas as reuniões nas comunidades para construção dos acordos de gestão dos sistemas de dessalinização e das unidades de aproveitamento do concentrado (onde houver).

Estão previstas 03 reuniões nas quais o Programa e o Acordo de Gestão serão apresentados. As reuniões se darão em momentos diferentes e devem seguir as orientações abaixo:

Para a 1ª Reunião nas comunidades (após a escolha da comunidade): os técnicos devem se apropriar das informações contidas nos diagnósticos para se inteirar previamente das informações para melhor condução da reunião. Devem ser apresentados o Programa, a empresa, e a pessoa indicada pela prefeitura para acompanhar as obras. No caso da empresa utilizar a mão de obra local, pagar os valores praticados no mercado e jamais utilizar trabalho infantil. Na oportunidade o projeto executivo deve ser apresentado e as pessoas que serão treinadas para operar o sistema deverão ser escolhidas, para aprovação pela comunidade.

Para a 2ª reunião onde será apresentado o Acordo de Gestão (quando as obras começarem): deve ser bem esclarecido o que é o Acordo e qual a sua importância; devem ser discutidos todos os pontos que serão acordados e a comunidade deve ser informada, em linguagem apropriada à sua compreensão, os detalhes técnicos do dessalinizador que foi projetado: vazão do poço, quantidade de horas de operação do sistema, quantidade da água que será dessalinizada, quantidade de água que será distribuída por família, definir a quantidade de água que será distribuída a partir da vazão do poço e não pela quantidade de pessoas.

Para a 3ª reunião onde os Acordos serão concluídos (quando as obras já tiverem em fase de conclusão): todos os pontos acordados anteriormente devem ser lidos e discutidos; devem estar presentes na reunião o grupo gestor e o operador que foi escolhido entre os 03 indicados, para operar o sistema diariamente, representantes das instâncias estadual e municipal; deve ser tirada uma foto do momento em que os presentes estão com as mãos levantadas concordando com os itens acordados, que será colocada na capa do Acordo. A lista de presença deverá ser anexada ao Acordo e o mesmo deve ser impresso e divulgado para todos os interessados.

As observações abaixo devem ser respeitadas visando o bom funcionamento dos sistemas:

Para que os dessalinizadores sejam postos em funcionamento os operadores devem acompanhar a sua instalação tendo a oportunidade de se familiarizar com o equipamento, recebendo orientações que os deixem aptos para operar os sistemas.

Quando um conjunto de dessalinizadores forem instalados em uma determinada região, os operadores devem participar do Curso para Operadores que será ministrado obedecendo à metodologia do PAD.

Os Acordos devem ser concluídos próximo ao término das obras para que, quando o sistema começar a funcionar, o Acordo seja posto em prática.

### **FASE III MONITORAMENTO DA GESTÃO FEITA PELAS COMUNIDADES ATENDIDAS PELO PROGRAMA**

Nessa fase as ações do componente ocorrerão após os acordos serem firmados. Cada comunidade visitada terá firmado um acordo de gestão que expresse suas especificidades cabendo ao técnico conhecê-las previamente. O monitoramento deve

priorizar os principais pontos discutidos e aprovados pela comunidade, considerando seu cumprimento.

Recomenda-se, nessa fase, que seja instituída uma rotina de trabalho para esse acompanhamento. Estão previstas 04 visitas para os técnicos/consultores do componente Mobilização Social, podendo ser acrescidas caso haja necessidade. É importante que seja mantida uma rotina de telefonemas para membros do grupo gestor entre as visitas. Para facilitar o acompanhamento o PAD dispõe de planilhas que deverão ser preenchidas pelos técnicos que estiverem em campo. As visitas devem ser precedidas de informações do acompanhamento realizado pelos demais componentes e, quando necessário, requerer o acompanhamento de técnicos de outros componentes. Em todas as visitas o grupo gestor, o operador e outras pessoas da comunidade devem ser ouvidas. Ouvir diferentes opiniões evita que os técnicos sejam influenciados por alguma informação unilateral que prejudique o monitoramento.

## COMPONENTE DE SISTEMAS PRODUTIVOS

**Everaldo Porto Rocha**

Este componente tem como objetivo geral a utilização de tecnologias adequadas para o aproveitamento do concentrado (efluente do dessalinizador) em sistemas produtivos locais, promovendo o uso sustentável dos recursos hídricos. Para isso, devem ser utilizadas ações integradas, com base na gestão participativa e na organização comunitária. As unidades de aproveitamento do concentrado englobam as Unidades Demonstrativas (UDs) e as Unidades Produtivas (UPs).

É uma combinação de ações integradas, de forte impacto social, que, além de produzir água potável para as comunidades atendidas, proporciona o aproveitamento econômico dos efluentes resultantes do processo de dessalinização. Como resultado, há melhoria da qualidade de vida da população e eliminação do impacto ambiental, que ocorreria caso não houvesse aproveitamento dos efluentes gerados no processo de dessalinização.

### FASE I – DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL

- O diagnóstico para as unidades produtivas deverá seguir todos os requisitos estabelecidos no item 5.1. Todavia, deverá ser incluído nesta fase o questionamento se a comunidade explora a criação de caprino/ovino;
- Nas comunidades que exploram a criação de caprino/ovino, deverá ser feita uma amostragem de solo nas profundidades de 0 - 30; 30 - 60 e 60 - 90 centímetros.

### FASE II – OBRAS CIVIS

Seleciona comunidades que apresentem as seguintes características:

- Explore a criação de caprino/ovino;
- Que o poço apresente uma vazão igual ou superior a 5 mil litros por hora;
- Que a salinidade da água do poço seja igual ou inferior 6 ds/m;
- Que o perfil do solo tenha pelo menos 1 metro de profundidade;
- Que o solo tenha pelo menos 70 % de areia;
- Que a declividade da área para o plantio da *Atriplex nummulária* não seja superior a 1 %.

**Para a elaboração do projeto os seguintes parâmetros devem ser obedecidos:**

- A disposição em campo, o dimensionamento e a construção dos tanques seguem as regras estabelecidas pelo projeto da piscicultura.
- A água para a irrigação deverá ser retirada do 3º tanque;
- O consumo diário da *Atriplex nummulária* é estabelecido em 3,5 mm por dia;
- As irrigações devem ser feitas 2 vezes por semana;
- A área a ser cultivada vai depender do volume de rejeito a ser produzido, respeitando as retiradas de água para outros fins, como a descendação animal. A depender do volume de rejeito a ser disponibilizado, a área a ser irrigada pode



variar de 0,5 a 1,0 hectares, que devem ser divididas em módulos para facilitar o manejo da irrigação.

- O espaçamento para a *Atriplex nummulária* deve ser de 1,5 m entre fileiras e 1,5 m entre plantas;
- As mudas de *Atriplex nummulária* para o plantio devem ser produzidas por estaquia;
- As covas para o plantio da *Atriplex nummulária* deve ser de 30x30x30 centímetros
- Antes do plantio das mudas deve ser feita uma adubação de fundação constituída por 5 litros de esterco e 150 gramas de superfosfato simples;
- O sistema de irrigação deve ser do tipo xique-xique;
- A unidade de bombeamento deverá ter uma potência mínima de 3,0 CV e vazão de 20 metros cúbicos por hora para uma carga de 14,0 m.c.a. Para proteção, deverá ser construída uma casa para a bomba de irrigação com as dimensões 2,0 metros de largura; 1,5 metros de comprimento e 1,6 metros de altura. A mesma deve ter uma cobertura com laje de concreto;
- As redes de condução e distribuição (linha principal e derivações) devem ser enterradas, de PVC azul PN-40 com diâmetro de 75 mm, ligadas por meio de registros de esfera;
- As linhas laterais devem ser compostas de polietileno de 16 mm de diâmetro com 12 emissores (dispositivo conector de aplicativo de água) com diâmetro de 2,0 mm, instalado a cada 1,5 metros ao longo das laterais. As laterais devem ser ligadas à linha de derivação, obedecendo ao espaçamento de 1.5 metros entre elas. Maiores detalhes da composição e montagem do sistema;
- A área de plantio deve ter todo o seu perímetro circundado com uma valeta de um metro de profundidade, na qual deverá ser colocada uma manta de plástico, preto ou amarelo, na vertical. Este isolamento é para evitar a saída, da área de plantio, do fluxo subterrâneo da água de irrigação. Depois de colocada a manta plástica, a valeta deve ser fechada. O plástico a ser usado é esse encontrado nas casas de material de construção. A figura abaixo dá uma ideia de como é colocada a manta. (A manta plástica deve ter, pelo menos, 1,5 m de largura, o que facilita a fixação da mesma no fundo da valeta).

#### IMAGEM DO SEPTO IMPERMEÁVEL COLOCADO AO REDOR DA ÁREA A SER CULTIVADA





- Toda área deve ser cercada com tela campestre de arame galvanizado 14, malha de 20,0 centímetros e 1,2 metros de altura fixada a estacas de concreto de 2,10 metros de comprimento e 8,0 a 10,0 centímetros de diâmetro mínimo, estaqueados a uma distância de 3,0 metros entre estacas com amarrações e sustentação apropriada para o esticamento da tela e arames. A cada 25 metro será executada uma mão francesa para melhor fixação da cerca. Logo acima da tela, devem ser colocadas mais duas linhas de arame espaçado de 20,0 centímetros. Como via de acesso do sistema será colocada um portão de madeira de 2,0 metros de largura por 1,6 metros de altura;
- Como parte da unidade produtiva, deve ser construído um depósito para a guarda dos insumos e equipamentos (comum a exploração da piscicultura);
- Como parte da unidade produtiva, deve ser adquirida uma máquina ensiladeira com capacidade para corte de 4 a 5 mm, com motor elétrico de 7,5 CV, transmissão feita do rotor aos rolos por meio de correia em “V” e capacidade para produção de 2000 a 6000 Kg/hora. As fases da corrente (tri ou monofásica) e a voltagem vai depender das características da corrente que chega na comunidade.

#### IMAGEM DE ENSILADEIRA MECÂNICA



- Após a instalação da unidade, deverá ser promovido cursos, para os membros da comunidade, sobre manejo da irrigação e da utilização da *Atriplex nummulária* na alimentação animal.

#### CARACTERÍSTICAS DA *Atriplex nummulária*

- Alta resistência às condições de aridez;
- Originária de regiões com precipitação de 250 mm/ano;
- Sistema radicular pode atingir 3,5 m de profundidade;
- Teor de proteína (em torno de 14%, chegando até 18,5);
- Fácil propagação;
- Alto teor calórico;
- Suporta salinidade de até 57 ds-m-1 ( $\approx 36,5$  g/l);
- Requer sódio como elemento essencial;

- Pouco susceptível a pragas e doenças.

#### IMAGEM DA *Atriplex nummularia*



#### IMAGEM DO ESPAÇAMENTO *Atriplex nummularia*



#### PRODUÇÃO MÉDIA DE FORRAGEM EM FUNÇÃO DO ESPAÇAMENTO E ÉPOCA DE CORTE DA *Atriplex nummularia*

Espaçamento (m x m)	Produção (T/ha)			Média Fator D
	Idade de corte (meses)			
	6	9	12	
1 x 1	16,64 aC	28,74 aB	55,97 aA	33,78a
2 x 2	6,35 bC	14,37 bB	19,76 bA	13,49b
3 x 3	3,36 bcB	6,12 cAB	7,96 cA	5,81c
4 x 4	1,46 cB	3,55 cAB	5,39 cA	3,47c
Média Fator C	6,95 C	13,19 B	22,27 A	14,14
Linhas – Classificação com letras maiúsculas.				
Colunas – Classificação com letras minúsculas.				

CV% = 12,82

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 1 – Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), mistura mineral (MM), proteína bruta (PB), digestibilidade “in vitro” da matéria seca (DIVMS) e da fibra em detergente neutro (FDN), das frações forrageiras da parte aérea (folhas, caules finos e grossos) e total da Erva Sal (*Atriplex Nummularia*)

Nutrientes*	Frações Forrageiras da Erva Sal			Total
	Folhas	Caules Finos	Caules Grossos	
MS (%)	23,15	43,91	51,76	30,70
MO	66,22	83,98	88,47	72,33
MM	25,23	8,62	4,04	19,45
PB	18,46	7,96	6,06	14,96
DIVMS	71,88	27,85	16,39	56,67
FDN	38,39	72,34	82,02	50,25

## FISCALIZAÇÃO DO OBJETO DOS CONVÊNIOS

José Alencar Simões

### ORIENTAÇÕES DE ORDEM GERAL

- A fiscalização dos serviços executados é de competência e responsabilidade do órgão contratante a quem caberá verificar a fiel execução das aquisições de material permanente, serviços e obras contratadas, em conformidade com Termo de Contrato/Convênio/Plano de Trabalho, projeto e suas especificações técnicas/memorial descritivo, constantes do termo de referência.
- O fiscal deverá observar se os materiais atendem às especificações técnicas quanto ao tipo, qualidade e **desempenho**, se os recursos humanos possuem competência técnica, profissional e comportamental adequada, se os equipamentos adquiridos/usados estão em conformidade com especificações (tipo, potência, capacidade, estado de conservação, desempenho, etc).
- O fiscal deverá ter conhecimento/cópia do projeto, especificações técnicas, memorial descritivo, editais de licitação para aquisição de material permanente, contratação de serviços, cronograma físico – financeiro, condições do canteiro da obra e segurança dos trabalhadores, elaborar relatórios sobre o andamento das obras, solicitar correção/refazimento de obra/serviço que não esteja em conformidade com o previsto, verificar se eventuais paralisações em obras/serviços são justificadas, exigir placas de identificação e ART.
- Ao **final da obra**, será necessário providenciar **termo de recebimento da obra** (por representante legal da contratante), o que não poderá diferir do que consta no projeto e ou memorial descritivo.
- Artigo 67 da Lei 8.666/93: a execução do contrato (convênio) deverá ser acompanhado e fiscalizado por representante da administração pública, que anotará as ocorrências relacionadas com a execução do contrato, determinando que se proceda a regularização de faltas ou defeitos observados e as decisões e providências que ultrapassarem sua competência deverão ser solicitadas aos superiores em tempo hábil.
- Artigo 68 da Lei 8.666/93: o contratado deverá manter preposto, aceito pela administração, no local da obra ou serviço, para representá-lo na execução do contrato.
- Artigo 69 da Lei 8.666/93: o contratado deverá reparar, corrigir, substituir, etc, às suas custas, os vícios/defeitos/incorrekções verificadas nos serviços e materiais empregados.

### VERIFICAÇÃO PERIÓDICA DO DIÁRIO DE OBRA

- O fiscal atesta a quantidade e a qualidade do foi adquirido/executado, sendo responsável por estas informações.

- Para cada vistoria realizada, deverá ser feito relatório descritivo e fotográfico, evidenciando as fases dos trabalhos e demais informações importantes no acompanhamento.
- Constatada a existência de danos ao erário, serão adotadas providências administrativas para apuração dos responsáveis e quantificação do dano com vistas ao ressarcimento.
- Portaria do Secretário de Estado designando o fiscal, conforme Cláusula de Convênio.
- Os boletins de medição, relatórios de vistoria e demais diligências serão anexados à prestação de contas: SICONV e meio físico. A medição será assinada pelo fiscal e pelo ordenador de despesa.
- O fiscal deve estar presente durante a execução da obra, cobrar qualidade, buscar de forma participativa os entendimentos necessários para sanar as pendências, tendo em mente que o **mais importante, é atingir o objetivo do convênio: “fornecimento de água de boa qualidade à comunidade.**
- Considerando o momento de Programa em Escala, procurar trabalhar em parceria e por meio de reuniões, treinar os executores (capacitados, terão maior produtividade e estarão aptos a participarem de outras licitações).

### ITENS A SEREM OBSERVADOS/RELATADOS “IN LOCO”

Localização: Município/Estado .....

Distrito/Comunidade.....

Latitude.....Longitude.....

Roteiro de acesso:.....

.....

Empresa executora da obra/contato:

Implantação ( ) Reforma ( ) Numeração/Estado ( )

**1** - Fonte hídrica (abrigo da bomba, portão, tipo de piso para proteção do poço, instalação elétrica, vazão do poço e modalidades de uso da água do poço, potência da bomba do poço, tubos e conexões, adução):

OBS.: Obra iniciada ( ) Em andamento ( % executada ) Concluída/data ( / / )

.....

**2** - Reservatório para água bruta (reservatório para alimentação do sistema de dessalinização):

OBS.: Obra iniciada ( ) Em andamento ( % executada ) Concluída/data ( / / )

.....

**3** - Abrigo do dessalinizador:

Área construída .....

Área reformada .....

Cerca de proteção/portão de acesso: .....

OBS.: Obra iniciada ( ) Em andamento ( % executada ) Concluída/data ( / / )

.....

**4** – Quadro de medição de energia do dessalinizador: (padrão da concessionária do Estado, aterramento, tipo de energia)

OBS.: Instalado ( ) Em andamento ( % executada ) Concluída/data ( / / )

.....

.....



## 5 - Equipamento de dessalinização – (      membranas )

A) Pré tratamento - bomba dosadora e reservatório para solução anti – incrustante

.....  
 .....

- filtros de cartucho.....

B) Moto bomba auxiliar:

Moto-bomba de alta pressão (      cv )

.....  
 .....

C) Permeadores compostos com os elementos de membranas:

.....  
 .....

D) Sistema para auto lavagem dos elementos de membranas (motobomba e reservatório de.....litros)

.....  
 .....

E) Instrumentos de medidas para:

- Registrar a produção do permeado e concentrado

.....  
 .....

- Registrar a variação de pressão dos filtros e das membranas

.....  
 .....

- Quadro elétrico

.....  
 .....

## F) Válvulas e registros

- Rede hidráulica de baixa pressão

.....  
 .....

- Rede elétrica de alta pressão

.....  
 .....

## G) Proteção contra corrosão na estrutura metálica:

.....  
 .....

**6 – Reservatório para permeado: (.....litros).**

OBS.: Obra iniciada (    ) Em andamento (    % executada ) Concluída/data (    /    /    )

**7 - Reservatório para concentrado: (.....litros).**

OBS.: Obra iniciada (    ) Em andamento (    % executada) Concluída/data (    /    /    )

.....  
 .....

**8 – Chafariz para distribuição de água permeada (.....Distância até a comunidade, cobertura, piso, torneiras).**

OBS.: Obra iniciada (    ) Em andamento (    % executada) Concluída/data (    /    /    )

.....  
 .....

**9 – Tanques para contenção de concentrado (.....ud):**

OBS.: Não iniciado (    ) Em andamento (    % executado ) Concluído/data (    /    /    )

.....  
 .....



**10 – Bebedouro e cocho para animais ( tipo, capacidade, distância do dessalinizador)**

.....

.....

Reservatório para permeado: (.....litros).

OBS.: Obra iniciada (    ) Em andamento (    % executada) Concluída/data (    /    /    )

.....

.....

**11 – Proteção do sistema de dessalinização – cerca ou muro (tipo, metragem, portão de acesso):**

OBS.: Não iniciado (    ) Em andamento (    % executado ) Concluído/data (    /    /    )

.....

.....

**12- Depósito de Insumos**

.....

.....

**12 – Observações/orientações:**

.....

.....

Data:

Local:

Assinatura/CREA/Matrícula

## SICONV, ASPECTOS JURÍDICOS E LEGAIS

**Mônica Tavares Rocha**

Convênio é todo e qualquer instrumento formal que discipline a transferência de recursos da União para Estados, Municípios, Distrito Federal ou entidades particulares, com vistas a execução de programas de trabalho, Projeto/Atividade ou evento de interesse recíproco, em regime de mútua colaboração.

Houve avanços nesse período, mas muitos problemas foram verificados. Desde os obstáculos para o Município manifestar formalmente o interesse na celebração de convênios e contratos de repasse até a prestação de contas, várias questões se apresentavam como desafios, conferindo uma complexidade que comprometia a eficiência.

Assim, veio o marco inaugural dessa mudança que foi o Decreto nº 6.170, de 25 de julho de 2007, que foi complementado pela Portaria Interministerial MP/MF/MCT nº 127, de 29 de maio de 2008.

A União compreendeu que era o momento de organizar o Sistema de Gestão de Convênios e Contratos de Repasse — a fim de consolidar uma base de integração mais clara para todos os envolvidos.

O grande fator de inovação é a utilização intensa da rede mundial de computadores (internet), por meio da instalação do Portal dos Convênios, que permite o relacionamento mais dinâmico entre as instituições interessadas, bem como facilitar o conhecimento de toda a sociedade sobre como os recursos públicos federais estão sendo aplicados. Trata-se de uma mudança de paradigma.

No caso do PAD, a clausura primeira de todos os convênios *“tem por objeto aplicar a metodologia do Programa Água Doce na recuperação, implantação e gestão de sistemas de dessalinização garantindo água potável para consumo humano em comunidades do estado no contexto do Programa Água para Todos no âmbito do Plano Brasil Sem Miséria.”*

### PORTAL DE CONVÊNIOS

Endereço eletrônico na rede mundial de computadores:

[www.convenios.gov.br](http://www.convenios.gov.br)

O Decreto nº 6170/2007-Dispõe sobre as normas relativas às transferências de recursos da União mediante convênios e contratos de repasse, e dá outras providências.

Buscando disciplinar os instrumentos de transferência voluntária entre a União e outra pessoa jurídica, e instituiu o Sistema de Gestão de Convênios e Contratos de Repasse (SICONV), cujas regras foram posteriormente detalhadas pela Portaria Interministerial nº 507, de 24 de novembro de 2011.

Art. 13. A celebração, a liberação de recursos, o acompanhamento da execução e a prestação de contas de convênios, contratos de repasse e termos de parceria serão registrados no SICONV, que será aberto ao público, via rede



mundial de computadores - Internet, por meio de página específica



denominada Portal dos Convênios. (Redação dada pelo Decreto nº 6.619, de 2008)

### **Portaria Interministerial 507/2011**

A Portaria nº 507/2011 regula os convênios, os contratos de repasse e os termos de cooperação celebrados pelos órgãos e entidades da Administração Pública Federal com órgãos ou entidades públicas ou privadas sem fins lucrativos para a execução de programas, projetos e atividades de interesse recíproco, que envolvam a transferência de recursos financeiros oriundos do Orçamento Fiscal e da Seguridade Social da União.

Art. 3º. Os atos e os procedimentos relativos à formalização, execução, acompanhamento, prestação de contas e informações acerca de tomada de contas especial dos convênios e termos de parceria serão realizados no Sistema de Gestão de Convênios e Contratos de Repasse - SICONV, aberto à consulta pública, por meio do Portal dos Convênios.

### **SICONV**

SICONV é o Sistema de Gestão de Convênios e Contratos de Repasse. Nesse sistema do Governo Federal, deve ser feito o registro de todas as informações em todas as fases dos convênios e contratos de repasse.

Para acessar o Portal dos Convênios, o usuário deverá estar habilitado no SICONV. Para tanto, deverá solicitar senha com perfil específico, junto ao Cadastrador Parcial do respectivo órgão. O cadastro do conveniente ou contratado deve estar atualizado no SICONV no momento da celebração.

#### **SICONV - DIRETRIZES**

- Ênfase na transparência à Sociedade
- Redução do custo operacional
- Automação de todo o ciclo de vida das transferências
- Facilidades para fiscalização e controle
- Simplificação/agilização de procedimentos
- Suporte à Padronização
- Interoperabilidade com os demais sistemas

#### **estruturadores SICONV - FACILIDADES**

- Divulgação dos Programas num único local
- Centralização das linhas de transferência
- Cadastro unificado de convenientes
- Envio eletrônico de propostas
- Recursos transferidos e a transferir
- Status do cronograma de execução
- Integração com sistemas estruturadores

## RECEITA FEDERAL

- SIAFI (empenho; transferência; movimentação conta corrente; GRU);
- Diário Oficial da União;
- CADIN e CAUC;
- Certidões Negativas Federais;
- Integração com os bancos oficiais (abertura de conta);
- Sistemas próprios de órgãos concedentes e;

Inicialmente, analisando o Portal de Convênios, é possível constatar que diversos documentos não se encontram no SICONV, cabendo ao setor técnico velar pela regularidade das informações registradas no sistema e sua respectiva compatibilidade com os dados constantes no processo em meio físico, regularizando-o imediatamente.

Art. 6º Ao conveniente compete:

- I - encaminhar à concedente suas propostas, na forma e prazos estabelecidos;
- II - definir por etapa/fase a forma de execução, direta ou indireta, do objeto conveniado;
- III - elaborar os projetos técnicos relacionados ao objeto pactuado, reunir toda documentação jurídica e institucional necessária à celebração do convênio, de acordo com os normativos do programa, bem como apresentar documentos de titularidade dominial da área de intervenção, licenças e aprovações de projetos emitidos pelo órgão ambiental competente, órgão ou entidade da esfera municipal, estadual, do Distrito Federal ou federal e concessionárias de serviços públicos, conforme o caso, e nos termos da legislação aplicável;
- IV - executar e fiscalizar os trabalhos necessários à consecução do objeto pactuado no convênio, observando prazos e custos, designando profissional habilitado no local da intervenção com a respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica - ART;
- V - assegurar, na sua integralidade, a qualidade técnica dos projetos e da execução dos produtos e serviços conveniados, em conformidade com as normas brasileiras e os normativos dos programas, ações e atividades, determinando a correção de vícios que possam comprometer a fruição do benefício pela população beneficiária, quando detectados pelo concedente ou pelos órgãos de controle;
- VI - selecionar as áreas de intervenção e os beneficiários finais em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela concedente, podendo estabelecer outras que busquem refletir situações de vulnerabilidade econômica e social, informando a concedente sempre que houver alterações;
- VII - realizar, sob sua inteira responsabilidade, o processo licitatório nos termos da Lei nº 8.666, de 1993, e demais normas pertinentes à matéria, assegurando a correção dos procedimentos legais, a suficiência do projeto básico, da planilha orçamentária discriminativa do percentual de Bonificação e Despesas Indiretas - BDI utilizado e o respectivo detalhamento de sua composição, por item de orçamento ou conjunto deles, e a disponibilidade de contrapartida, quando for

o caso, sempre que optar pela execução indireta de obras e serviços, ressalvada a exceção contida no art. 57 desta Portaria.

VIII - apresentar declaração expressa firmada por representante legal do órgão ou entidade conveniente, ou registro no SICONV que a substitua, atestando o atendimento às disposições legais aplicáveis ao procedimento licitatório;

IX - exercer, na qualidade de contratante, a fiscalização sobre o contrato administrativo de execução ou fornecimento - CTEF;

X - estimular a participação dos beneficiários finais na elaboração e implementação do objeto do convênio, bem como na manutenção do patrimônio gerado por estes investimentos;

XI - no caso dos entes municipais e do Distrito Federal, notificar os partidos políticos, os sindicatos de trabalhadores e as entidades empresariais com sede no município ou Distrito Federal quando ocorrer a liberação de recursos financeiros pela concedente, como forma de incrementar o controle social, em conformidade com a Lei nº 9.452, de 1997, facultada a notificação por meio eletrônico;

XII - operar, manter e conservar adequadamente o patrimônio público gerado pelos investimentos decorrentes do convênio, após a execução do convênio.

XIII - prestar contas dos recursos transferidos pela concedente destinados à consecução do objeto do convênio;

XIV - fornecer à concedente, a qualquer tempo, informações sobre as ações desenvolvidas para viabilizar o acompanhamento e avaliação do processo;

XV - prever no edital de licitação e no contrato de execução ou fornecimento - CTEF que a responsabilidade pela qualidade das obras, materiais e serviços executados/fornecidos é da empresa contratada para esta finalidade, inclusive a promoção de readequações, sempre que detectadas impropriedades que possam comprometer a consecução do objeto conveniado;

XVI - realizar no SICONV os atos e os procedimentos relativos à formalização, execução, acompanhamento, prestação de contas e informações acerca de tomada de contas especial dos convênios, quando couber;

XVII - instaurar processo administrativo apuratório, inclusive processo administrativo disciplinar, quando constatado o desvio ou malversação de recursos públicos, irregularidade na execução do contrato ou gestão financeira do convênio, comunicando tal fato à concedente.

XVIII - registrar no SICONV o extrato do edital de licitação, o preço estimado pela Administração para a execução do serviço e a proposta de preço total ofertada por cada licitante com o seu respectivo CNPJ, o termo de homologação e adjudicação, o extrato do CTEF e seus respectivos aditivos, a Anotação de Responsabilidade Técnica - ART dos projetos, dos executores e da fiscalização de obras, e os boletins de medições.

§ 1º O descumprimento de quaisquer das obrigações dispostas nos incisos anteriores acarretará ao conveniente a prestação de esclarecimentos perante o concedente.

§ 2º Prestados os esclarecimentos de que trata o parágrafo anterior, o concedente, aceitando-os, fará constar nos autos do processo a justificativa prestada e dará ciência à Controladoria-Geral da União.

§ 3º Ao tomar conhecimento de qualquer irregularidade ou ilegalidade, dela dará ciência aos órgãos de controle e, havendo fundada suspeita de crime ou de improbidade administrativa, cientificará o Ministério Público.

§ 4º A fiscalização pelo conveniente consiste na atividade administrativa realizada de modo sistemático, prevista na Lei nº 8.666, de 1993, com a finalidade de verificar o cumprimento das disposições contratuais, técnicas e administrativas em todos os seus aspectos.

§ 5º A fiscalização pelo conveniente deverá:

- I - manter profissional ou equipe de fiscalização constituída de profissionais habilitados e com experiência necessária ao acompanhamento e controle das obras e serviços;
- II - apresentar ao concedente a Anotação de Responsabilidade Técnica - ART da prestação de serviços de fiscalização a serem realizados, quando se tratar de obras e serviços de engenharia; e
- III - verificar se os materiais aplicados e os serviços realizados atendem os requisitos de qualidade estabelecidos pelas especificações técnicas dos projetos de engenharia aprovados.

#### **CLÁUSULAS DAS OBRIGAÇÕES DOS CONVENIENTES PRESENTES NOS TERMOS DE CONVÊNIOS**

- a) efetuar o depósito do valor estipulado na Cláusula Terceira a título de Contrapartida, de acordo com o detalhamento do Plano de Trabalho, sendo que tais recursos deverão ser depositados em conta bancária específica do convênio;
- b) executar todas as atividades inerentes à implementação do presente convênio, com rigorosa obediência ao Plano de Trabalho e o Termo de Referência e, quando for o caso o Projeto Básico, zelando pela qualidade técnica em todas as suas etapas;
- c) apresentar à CONCEDENTE Relatórios Técnico-Gerenciais semestrais ou a qualquer momento, quando solicitado, de acordo com as etapas previstas no Plano de Trabalho, acompanhadas de registro fotográfico, demonstrando o progresso na implementação do objeto do convênio;
- d) movimentar os recursos financeiros liberados pela CONCEDENTE e os recursos da contrapartida em conta bancária específica gerida por instituições financeiras controladas pela União e vinculada a este convênio;
- e) não utilizar os recursos recebidos da CONCEDENTE em finalidade diversa da estabelecida neste convênio, ainda que em caráter de emergência;
- f) restituir, à conta da CONCEDENTE, eventual saldo dos recursos transferidos pela CONCEDENTE e rendimentos decorrentes de aplicações no mercado financeiro, na forma orientada no presente Instrumento;
- g) apresentar Prestação de Contas, observado o disposto na Cláusula Décima-Primeira deste Instrumento;
- h) responsabilizar-se por todos os encargos de natureza trabalhista e previdenciária,

bem como por todos os ônus tributários ou extraordinários que incidam sobre o presente Instrumento, ressalvados aqueles de natureza compulsória, lançados automaticamente pela rede bancária arrecadadora;

i) responder pelos danos causados por terceiros, decorrentes de culpa ou dolo na execução do presente convênio;

j) promover a aquisição e/ou contratação de bens, obras e serviços, em conformidade com os procedimentos adotados pela legislação federal, notadamente o Decreto no 5.504, de 2005, sendo obrigatório o emprego da modalidade pregão, nos termos da Lei no 10.520, de 2002, e do regulamento previsto no Decreto no 5.450, de 2005, utilizando-se preferencialmente de sua forma eletrônica, após prévia anuência do CONCEDENTE. A inviabilidade da utilização da modalidade pregão eletrônico deverá ser devidamente justificada à CONCEDENTE. Nos casos de inaplicabilidade da modalidade pregão, adotar a Lei no 8.666, de 1993, inclusive com a realização de pesquisas de preço, buscando sempre a proposta mais vantajosa para o convênio, com vistas a economicidade e ao melhor aproveitamento dos recursos aplicados;

k) manter registros, arquivos e controles contábeis específicos para os dispêndios relativos ao presente Instrumento;

l) inserir cláusula nos contratos celebrados para execução do convênio que permitam o livre acesso dos servidores do CONCEDENTE, bem como dos órgãos de controle interno e externo, aos documentos e registros contábeis das empresas contratadas referentes ao objeto conveniado;

m) promover a divulgação das ações objeto deste convênio citando, obrigatoriamente, a participação da CONCEDENTE nos trabalhos, como previsto na Cláusula Décima Sétima;

n) permitir o livre acesso de servidores do Sistema de Controle Interno e Externo do Poder Executivo Federal, da CONCEDENTE, bem como do Tribunal de Contas da União em qualquer tempo e lugar, a todos os atos administrativos e aos registros dos fatos relacionados direta ou indiretamente com o instrumento pactuado, assim como às obras e serviços objeto do convênio, quando em missão de supervisão, fiscalização e auditoria, fornecendo, sempre que solicitado, as informações e os documentos relacionados com a execução do objeto deste Instrumento, especialmente no que se refere ao exame da documentação relativa às licitações e aos contratos;

o) apresentar Relatório Técnico final, explicitando o atingimento dos objetivos do projeto, inclusive quanto ao aproveitamento das ações ambientais;

p) fornecer todas as informações solicitadas diretamente pela CONCEDENTE, relativas ao objeto deste convênio, e à situação financeira de sua execução;

q) realizar as despesas para execução do objeto do convênio expresso no Plano de Trabalho, exclusivamente dentro do período previsto na Cláusula Décima Terceira;

r) utilizar os bens e serviços custeados com recursos da CONCEDENTE exclusivamente na execução do objeto deste convênio;

s) comunicar à CONCEDENTE sempre que houver prêmios, títulos, homenagens e afins, decorrentes dos trabalhos realizados no âmbito do presente convênio;

t) designar servidor(es) e seu(s) respectivo(s) substituto(s), com as funções de



coordenador e responsável técnico, e de ordenador de despesa, além de encaminhar à CONCEDENTE as cópias dos atos de designação no prazo de 15 dias, contados da data de publicação deste instrumento;

u) aplicar os recursos financeiros de que trata este convênio, tanto os transferidos pela CONCEDENTE quanto os de contrapartida, na conformidade do Plano de Trabalho e, exclusivamente, no cumprimento do seu objeto, não os utilizando em finalidade diversa da estabelecida neste convênio, ainda que em caráter de emergência;

v) elaborar todos os documentos necessários à implementação das atividades, em conformidade com a legislação aplicável;

w) elaborar e submeter à CONCEDENTE, a relação dos recursos humanos e materiais necessários à consecução do objeto deste convênio, bem como os Termos de Referência relacionados à contratação de serviços, obras e aquisição de bens;

x) notificar sobre a celebração do presente convênio, ao Conselho Estadual de Meio Ambiente, no prazo de 15 (quinze) dias, contados da data de publicação deste instrumento;

y) incluir regularmente no SICONV as informações e os documentos relativos ao convênio, mantendo-o atualizado;

z) aprovação do Plano Estadual do Programa Água Doce, no âmbito do Conselho Estadual de Meio Ambiente e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos e institucionalização do Programa Água Doce, por meio de Decreto Estadual.

O art. 43, inciso X da Portaria nº 507/2011, bem como a Cláusula Quinta do Termo de Convênio, estabelecem também que o Conveniente tem a obrigação de incluir regularmente no SICONV as informações e os documentos exigidos por esta Portaria, mantendo-o atualizado, conforme transcrito abaixo:

“Durante a vigência deste convênio a CONVENIENTE obriga-se a:

I – antes da realização de cada pagamento com os recursos do convênio, incluir no SICONV, no mínimo, as seguintes informações:

a) a destinação do recurso;

b) o nome e CNPJ ou CPF do fornecedor, quando for o caso;

c) o contrato a que se refere o pagamento realizado;

d) a meta, etapa ou fase do Plano de Trabalho relativa ao pagamento; e

e) a comprovação do recebimento definitivo do contrato mediante inclusão no Sistema das Notas Fiscais ou documentos contábeis.”

Na Cláusula Segunda - Das Obrigações do Conveniente, inciso II, alínea “c” e na Cláusula Sexta – Do Acompanhamento e da Fiscalização, do Termo de Convênio, está estabelecido a obrigatoriedade do Conveniente quanto aos relatórios de execução:

Cláusula Sexta - Do Acompanhamento e da Fiscalização

I – relatórios semestrais que deverão ser encaminhados pela CONVENIENTE e incluídos no SICONV pelo técnico designado pela CONVENIENTE;

Assim, os relatórios de execução físico/financeiro deverão ser gerados semestralmente, ou em menor período, quando a Conveniente achar necessário.

Considerando o exposto, a Coordenação Nacional do Programa, sem prejuízo das demais atualizações junto ao SICONV, estabelece, a partir de agora, os seguintes prazos para os contratos, a serem observados pelos técnicos responsáveis.

**PARA CONTRATOS JÁ FORMALIZADOS** - Prazo de 15 dias úteis para:

- Incluir todos os editais de licitação e seus anexos;
- Incluir todos os contratos referentes aos editais de licitação bem como todos os documentos de liquidação;

**PARA CONTRATOS A SEREM FORMALIZADOS** - Prazo de 3 dias úteis para:

- Incluir os editais de licitação, após a publicação;
- Incluir os contratos, após a assinatura.

#### **DAS CONDIÇÕES PARA LIBERAÇÃO DOS RECURSOS**

A liberação de recursos, no âmbito dos convênios, fica condicionada à liquidação do empenho e ao cumprimento dos demais requisitos previstos no art.55 da Portaria Interministerial CGU/MPOG/MF nº 507/2011, conforme a seguir transcrito:

“Art. 55. Para recebimento de cada parcela dos recursos, o conveniente deverá:

I - comprovar o cumprimento da contrapartida pactuada que, se financeira, deverá ser depositada na conta bancária específica do instrumento em conformidade com os prazos estabelecidos no cronograma de desembolso, ou depositada na Conta Única do Tesouro Nacional, na hipótese do convênio ou contrato de repasse ser executado por meio do Sistema Integrado de Administração Financeira – SIAFI;

II - atender às exigências para contratação e pagamento previstas nos as. 56 a 64 desta Portaria; e

III - estar em situação regular com a execução do Plano de Trabalho.”

Além da comprovação da contrapartida, especificando o valor de cada parcela e do montante de todos os recursos, na forma estabelecida em lei, também deverá ser apresentado um Quadro-Demonstrativo com a indicação do orçamento, a previsão do prazo para a execução.

#### **DOS CONDICIONANTES PARA CELEBRAÇÃO DE ADITIVOS**

Quanto aos aditivos, o Conveniente deve observar o art. 50 da Portaria nº 507/11 e a Cláusula Décima-Nona do Termo de Convênio, que dispõem:

“Art. 50. O convênio poderá ser alterado mediante proposta, devidamente formalizada e justificada, a ser apresentada ao concedente em, no mínimo, 30 (trinta) dias antes do término de sua vigência ou no prazo nele estipulado.”

Ressaltando que deve ser feito o registro no SICONV de toda e qualquer alteração efetuada no termo de convênio ou no plano de trabalho. No caso em que o conveniente é tiver interesse em efetuar alteração do prazo, a formalização da proposta será submetida à anuência do concedente, antes do término da vigência ou do prazo estabelecido no termo de convênio.

Somente deverão ser publicados no Diário Oficial da União os extratos dos aditivos que alterem o valor ou ampliem a execução do objeto.

## DA DOCUMENTAÇÃO COMPROBATÓRIA DO RESPONSÁVEL PELO ÓRGÃO CONVENIENTE

Nos estados com mudanças de gestores, devido às eleições, observarem que deverá ser apresentada a documentação pessoal do novo representante do órgão Conveniente, bem como da sua competência para representar o órgão ou entidade pública, conforme abaixo transcrito.

I – Nome do responsável;

II- Endereço da sede, bem como endereço residencial do responsável que assinará o instrumento, quando se tratar de instituições públicas;

III - Carteira de Identidade e CPF;

IV- Cópia autenticada do diploma eleitoral, acompanhada da publicação da portaria de nomeação ou outro instrumento equivalente, que delegue competência para representar o ente, órgão ou entidade pública.

## DA REGULARIDADE

O Conveniente deve prezar pela regularidade fiscal, observando o art.38 da Portaria nº 507/2011.

I - Demonstração do exercício da Plena Competência Tributária;

II - Regularidade Previdenciária;

III - Regularidade quanto a Tributos e Contribuições Federais e à Dívida Ativa da União;

IV- Regularidade quanto a Contribuições Previdenciárias;

V - Regularidade perante o Poder Público Federal;

VI - Regularidade quanto a Contribuições para o FGTS;

VII- Regularidade quanto à Prestação de Contas de Recursos Federais Recebidos Anteriormente;

VIII- Regularidade em relação à Adimplência Financeira em Empréstimos e Financiamentos concedidos pela União.

## DOS PREÇOS

O art. 30, da Portaria Interministerial nº 507/2011, estabelece que “o preço de referência é o parâmetro de admissibilidade do concedente para aprovação do preço orçado e do contratado”. Assim, os preços devem ser orçados de acordo com os valores de mercado, com apresentação de 3 (três) orçamentos.

TERMO DE REFERENCIA: O art. 1º, inciso XXVI da Portaria nº 507/11, define Termo de Referência, lembrando que estes devem ser encaminhados para a Concedente para aquisição dos bens e serviços a serem contratados.

# **MANUAL DE CLORAÇÃO DA ÁGUA DESSALINIZADA**

## SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO.....	3
2	INTRODUÇÃO.....	4
3	DESINFECÇÃO DA ÁGUA.....	5
3.1	Tipos de Desinfetantes.....	5
3.2	O Processo da Cloração.....	6
3.2.1	Cloro Residual Livre e Demanda de Cloro.....	8
3.2.2	O Cloro e seus Derivados.....	8
3.2.3	A Importância da Cloração como Pós-tratamento para o Sistema de Dessalinização.....	11
4	PÓS-TRATAMENTO DO PERMEADO (CLORAÇÃO).....	12
4.1	Especificações Técnicas para Aquisição do Sistema de Pós-Tratamento.....	12
4.2	Instalação.....	13
4.3	Preparo da Solução de Cloro.....	16
4.4	Dosagem de Cloro.....	18
4.5	Equipamentos de Proteção Individual.....	20
4.6	Monitoramento do Cloro Residual Livre.....	20
4.7	Determinação do Cloro Residual Livre.....	21
4.7.1	Princípio do método.....	22
4.7.2	Aparelhagem.....	22
4.7.3	Reagentes.....	22
4.7.4	Procedimento.....	22
5	CARACTERÍSTICAS DO ÁCIDO DICLOROISOCIANURICO.....	24
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
7	ANEXO.....	28
7.1	Modelo de Planilha para Monitoramento do Cloro Residual Livre.....	28
7.2	Especificações e características técnicas para os EPI's recomendados.....	29

## **1 APRESENTAÇÃO**

O Programa Água Doce promove a melhoria do acesso à água no semiárido brasileiro através da implantação e recuperação de sistemas de dessalinização, que utilizam o processo de osmose inversa para produzir água para consumo humano a partir de águas subterrâneas salobras e salinas.

Este manual tem como objetivo principal orientar técnicos e profissionais interessados na manutenção da qualidade da água para consumo humano produzida em sistemas de dessalinização, através da cloração da água dessalinizada como pós-tratamento, em atendimento ao Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde (antiga Portaria nº 2.914/2011).

O pós-tratamento consiste em estabilizar a água e prepará-la para distribuição. O processo de dessalinização por osmose inversa representa uma barreira efetiva para organismos patogênicos. Porém a manutenção de um residual de cloro livre é necessária para assegurar um suprimento seguro de água eliminando a possibilidade de ocorrência de bactérias, fungos, protozoários ou vírus na água produzida para consumo humano provenientes da distribuição e armazenamento.

## 2 INTRODUÇÃO

Os dessalinizadores são equipamentos destinados a produzir água doce a partir de água do mar ou salobra, empregando o processo que utiliza membranas osmóticas sintéticas. O processo de osmose inversa tem como força motriz a pressão que deve ser superior à pressão osmótica oferecida pela água concentrada em sais para produzir dois efluentes denominados de permeado e concentrado. Quando se trata de um sistema de abastecimento de água, o permeado é dirigido para o consumo humano.

O Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, em seu Capítulo V, artigo 34, determina que:

*“Art. 34. É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).”*

Sendo assim, em atendimento a portaria, o Programa Água Doce introduziu o pós-tratamento aos sistemas de dessalinização, utilizando cloro orgânico para consumo humano, para garantir a desinfecção em eventuais contaminações na distribuição e armazenamento nas residências dos usuários da água dessalinizada.

### 3 DESINFECÇÃO DA ÁGUA

A desinfecção é uma das etapas do tratamento convencional da água para consumo humano e consiste na inativação dos organismos patogênicos. Pode ser realizada por intermédio de agentes físicos ou químicos (desinfetantes) e não necessariamente implica na destruição completa de todos os micro-organismos vivos.

O desinfetante atua através de mecanismos de destruição ou danificação da organização estrutural da célula, interferência no nível energético do metabolismo e biossíntese, bem como no crescimento, devido à combinação de vários mecanismos, como a síntese de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas ou células estruturais.

Como as demais etapas do tratamento convencional não priorizam a inativação dos micro-organismos presentes na água, apesar de ocorrerem reduções, a etapa de desinfecção cumpre a função da inativação de qualquer tipo existente e ainda previne o crescimento microbiológico nas redes de distribuição.

A eficiência da desinfecção depende de fatores tais como:

- Concentração do organismo a ser destruído;
- Concentração do desinfetante;
- Tempo de contato;
- Características químicas e físicas da água a ser tratada;
- Grau de dispersão do desinfetante na água.

#### 3.1 Tipos de Desinfetantes.

A desinfecção da água pode ser feita por uma grande variedade de produtos, dentre os quais podemos destacar os agentes químicos: cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio, ácido peracético, permanganato de potássio, cloraminas, dióxido de cloro, a mistura ozônio com peróxido de hidrogênio e outros agentes em



fase de pesquisa e desenvolvimento, como sais de prata, sais de cobre, detergentes, etc. Pela sua eficiência e custo, o cloro e seus derivados são os mais usados, sendo os outros desinfetantes considerados alternativos.

Dentre os agentes físicos também considerados processos alternativos para desinfecção da água, temos: radiação ultravioleta, fotocatalise heterogênea e radiação solar.

O desinfetante ideal a ser usado no tratamento da água deve possuir as seguintes características:

- Poder de inativação e eliminação dos organismos patogênicos;
- Não deve ser tóxico ou conferir sabor e odor á água para não prejudicar seu consumo;
- Deve apresentar condições e facilidades na aplicação, manuseio, transporte, armazenamento e segurança;
- A concentração na água deve ser facilmente determinada;
- Deve produzir residuais na água que persistam por algum tempo de modo a evitar contaminação antes do uso.

O cloro e seus derivados são os desinfetantes comumente empregados e considerados eficazes, pois agem sobre os micro-organismos patogênicos presentes na água, não são nocivos ao homem na dosagem requerida para desinfecção, são econômicos, não altera outras qualidades da água depois de aplicados, não requerem operação complexa para aplicação e mantém um residual ativo na água, isto é, a ação continua depois de serem aplicados.

### 3.2 O Processo da Cloração.

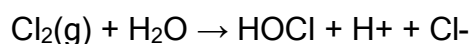
O processo de desinfecção mais aplicado nos sistemas de abastecimento de água, em todo o mundo, é o que emprega o cloro ou produtos à base de cloro como agentes desinfetantes. Foi introduzido massivamente no último século, no tratamento da água como complemento do processo de filtração que já era

conhecido e utilizado, constituindo, assim, uma revolução tecnológica no tratamento da água.

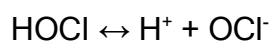
Por ser um forte agente oxidante, o cloro funciona através da oxidação de moléculas orgânicas. O cloro e seu produto de hidrólise, o ácido hipocloroso, têm carga neutra e, por conseguinte, penetram facilmente a superfície de carga negativa de agentes patogénicos sendo capaz de desintegrar os lípídeos que compõem a parede celular reagindo com enzimas e proteínas intracelulares, tornando-os não-funcionais. Os microrganismos então morrem ou são impossibilitados de se multiplicar (Kleijnen, 2011).

Além de sua alta capacidade oxidante, o cloro e seus derivados, possuem fácil acessibilidade, custo razoável, ação germicida de amplo espectro, boa persistência nos sistemas de distribuição, sistema de dosagem relativamente simples, facilidade para ser mensurável e efeito residual persistente. Entre as desvantagens do cloro como agente desinfetante, temos: formação de compostos organohalogenados quando a água possui precursores, problemas de sabor e odor, influência do pH e da turbidez sobre a ação desinfetante.

O cloro e seus derivados se hidrolisam rapidamente em água para formar o ácido hipocloroso (HOCl), a exemplo do cloro gasoso, conforme mostra a equação a seguir:



O ácido hipocloroso se dissocia fracamente em hidrogênio e íons hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ), conforme equação seguinte:

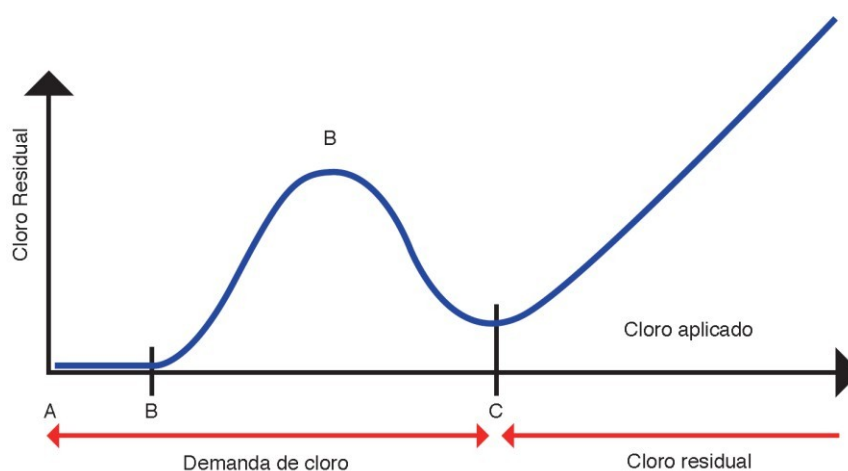


O ácido hipocloroso e o íon hipoclorito são responsáveis pelo residual de cloro, sendo que a ação germicida do HOCl é maior do que a do  $\text{OCl}^-$ . Em soluções alcalinas todo o ácido se dissocia ao íon hipoclorito diminuindo o efeito desinfetante do derivado do cloro. A solução com pH alcalino favorece a dissociação do ácido hipocloroso (maior efeito germicida) e a formação do íon hipoclorito (menor efeito germicida). Por essa razão, existem vantagens em utilizar o cloro como agente

desinfetante em soluções com pH neutro ou levemente ácido por representar uma maior eficiência na desinfecção.

### 3.2.1 Cloro Residual Livre e Demanda de Cloro.

O cloro quando adicionado a água, dependendo do tipo desta, pode exercer ação oxidante e desinfetante e também reagir com substâncias orgânicas produzindo subprodutos clorados. A esse processo denomina-se demanda de cloro. A curva a seguir, mostra o comportamento do cloro na água.



Fonte: Opas, 1999.

Quando o cloro é introduzido na água, ele é imediatamente consumido na oxidação da matéria orgânica e inorgânica (segmento de curva AB). Enquanto esses compostos não forem totalmente oxidados, não ocorrerá desinfecção e o cloro residual será nulo. Em seguida, o cloro combina-se com compostos nitrogenados, produzindo cloro residual combinado na forma de cloraminas, que também são oxidadas reduzindo novamente os teores de cloro residual (segmento de curva BC). Nesse ponto em diante, a oxidação do cloro residual combinado é completada e elevam-se novamente os teores de cloro residual livre, mais eficaz como desinfetante (FUNASA, 2014).

### 3.2.2 O Cloro e seus Derivados.

Enquanto o cloro gasoso é predominantemente utilizado nas estações convencionais de tratamento de água, os derivados de cloro mais empregados como agentes desinfetantes químicos alternativos ao mesmo, são o hipoclorito de cálcio e

o de sódio, principalmente, para pequenas aplicações, tais como, pequenas comunidades, piscinas, poços, navios, cisternas, etc. Estes são derivados clorados de origem inorgânica.

Por outro lado, o uso de derivados clorados de origem orgânica vem sendo ampliado em diversos setores, e principalmente, para desinfecção de água para consumo humano, em virtude de sua praticidade no manuseio, medição, transporte e armazenamento e modernidade dos produtos em se tratando de tecnologia, embalagens, variedades de apresentação e a maior aceitação pelos usuários.

Os derivados clorados de origem orgânica, também denominados de cloraminas orgânicas, surgiram na década de setenta como resultado de reações químicas entre o ácido hipocloroso e aminas, iminas, amidas e imidas (Dychdala, 1991). Dentre as cloraminas orgânicas destaca-se o dicloroisocianurato de sódio que foi aprovado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária através da Resolução nº 150 de 28 de maio de 1999.

As principais vantagens do ácido dicloroisocianúrico ou dicloroisocianurato de sódio estão na maior solubilidade, maior estabilidade, dosagem mais precisa, menor risco químico, baixa toxicidade e menor formação de subprodutos da desinfecção quando comparados aos derivados clorados de origem inorgânica. Ressalta-se que os derivados clorados de origem orgânica não formam, em níveis considerados significativos, os chamados trihalometanos, que são considerados potencialmente cancerígenos (Macêdo et al, 2002).

Devido possuir uma maior estabilidade ao armazenamento os derivados clorados de origem orgânica possuem um prazo de validade maior (3 a 5 anos) comparado aos derivados clorados de origem inorgânica que chegam a no máximo 1 ano. Também são mais estáveis em solução aquosa resultando numa liberação mais lenta do ácido hipocloroso, garantindo o residual de cloro por período de tempos maiores.

A avaliação da estabilidade do ácido dicloroisocianúrico em solução aquosa foi comprovada através de pesquisa realizada por Trolli et al (2002) onde verificou-se que após 5 horas de contato com uma mesma amostra houve uma redução de

somente 41% do seu princípio ativo na forma de cloro residual livre, enquanto que, o cloro gasoso, o hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio apresentaram 72%, 66% e 59%, respectivamente. Também foi possível plotar os gráficos da concentração de cloro residual livre (CRL) versus o tempo de contato com a amostra e determinar equações das retas para cada derivado clorado testado e calcular o tempo em que o residual de cloro alcança a concentração zero. Os resultados mostram que o derivado orgânico é mais estável, com um tempo de 12 horas para se alcançar o menor nível de CRL, enquanto que, o cloro gasoso, o hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio apresentaram 6,6 h, 7 h e 8 h, respectivamente.

O ácido dicloroisocianúrico ou dicloroisocianurato de sódio apresenta em solução 1% um pH que varia de 6 a 8, enquanto que a solução 1 % de hipoclorito de cálcio ou de sódio apresentam pH variando de 10,5 a 12,5 que é alcalino e reduz a eficiência da desinfecção com uma maior formação de íon hipoclorito (menor efeito desinfetante) devido a dissociação do ácido hipocloroso ser favorecida em pH alcalino.

No processo de desinfecção da água com produtos a base de cloro, existe a possibilidade de formação de subprodutos com potencial carcinogênico. Dentre eles se destacam os trihalometanos (THM), que se originam das reações entre o cloro e as substâncias orgânicas presentes nas águas naturais.

Diversos estudos têm relacionado a presença de teores elevados de THM na água para consumo humano com uma maior incidência de câncer de bexiga, colorretal e cerebral, problemas no sistema reprodutivo, abortos espontâneos e defeitos congênitos nas crianças. Os THM's são também utilizados como indicadores da possível presença de outros compostos organoclorados, também resultantes do processo da cloração das águas e considerados mais perigosos. Em função dos riscos, o monitoramento dos níveis de THM nas águas cloradas deve ser bastante rigoroso. A Portaria MS nº 2.914/11 estabelece como valor máximo permissível uma concentração de 100 µg/L.

Segundo Tominaga e Midio (1999), os THM's poderão ser absorvidos pelo organismo humano através da ingestão de água, lavagem de roupas e louças, durante o banho e no uso de piscinas.

Estudos conduzidos por Trolli et al (2002) que comparam a formação de THM's em água tratada, após cloração com hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio, cloro gasoso e dicloroisocianurato de sódio mostram uma maior formação destes com os desinfetantes hipoclorito de cálcio e hipoclorito de sódio.

### 3.2.3 A Importância da Cloração como Pós-tratamento para o Sistema de Dessalinização.

O Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, em seu Capítulo V, artigo 35, determina a adição de cloro ou dióxido de cloro quando o desinfetante utilizado para desinfecção da água para consumo humano não produz residual, citando o ozônio e a radiação ultravioleta, como segue:

*“Art. 35. No caso do uso de ozônio ou radiação ultravioleta como desinfetante, deverá ser adicionado cloro ou dióxido de cloro, de forma a manter residual mínimo no sistema de distribuição (reservatório e rede), de acordo com as disposições do art. 34 desta Portaria.”*

Diferentemente do processo convencional de tratamento da água, no processo alternativo de tratamento da água por osmose inversa, é realizada uma esterilização através da filtração dos organismos patogênicos da água. O permeado produzido nos sistemas de dessalinização do Programa Água Doce é isento de microrganismos devido ao processo de osmose inversa promover a remoção destes da água produzida para consumo humano.

Similarmente aos processos de desinfecção que utilizam desinfetantes que não produz residual, o tratamento da água realizado pelo processo de osmose inversa requer adição de cloro para a manutenção desse residual evitando posterior contaminação ou crescimento microbiológico na distribuição e armazenamento.

Para realizar a cloração do permeado dos sistemas de dessalinização do PAD, foi escolhido o ácido dicloroisocianúrico ou dicloroisocianurato de sódio, sendo o mais indicado em função da praticidade no manuseio, medição, transporte e armazenamento, da maior solubilidade, do maior período de validade, da dosagem mais precisa, do menor risco químico (corrosividade), da não formação de subprodutos em níveis significativos, da não existência de odores e sabores característicos na água tratada.

#### **4 PÓS-TRATAMENTO DO PERMEADO (CLORAÇÃO)**

O sistema de cloração tem o objetivo de realizar o pós tratamento do permeado produzido no sistema de dessalinização para manutenção do residual de cloro mínimo de 0,2 mg/L e máximo de 2,0 mg/L em atendimento ao Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, sendo constituído basicamente por uma bomba dosadora e um reservatório para acondicionar a solução de cloro.

Uma vez que, o permeado está isento de microorganismos e matéria orgânica, não há demanda de cloro para que esse residual se estabeleça. Sendo então necessário dosar o mínimo de insumo somente para garantir a potabilidade da água. Dessa forma, garantimos a potabilidade da água para consumo humano e reduzimos os problemas resultantes de sabor e odor que poderiam ocasionar a rejeição da água pelos usuários.

Como será necessário dosar somente o cloro ativo para a manutenção do residual exigido pela portaria, foi adotada a utilização de bomba dosadora para injeção do cloro no reservatório do permeado.

A bomba dosadora apresenta uma operação mais controlada e rigorosa na dosagem do insumo, fornecendo um controle eficiente na aplicação da solução de cloro, principalmente quando se trata de pequenas vazões de água tratada, como é o caso do permeado dos sistemas de dessalinização do Programa Água Doce. A bomba dosadora realiza a dosagem estável, segura e contínua, evitando desperdícios e excessos.

##### **4.1 Especificações Técnicas para Aquisição do Sistema de Pós-Tratamento**

- 01 (uma) bomba dosadora eletromagnética para cloro líquido orgânico, com fluxo ajustável, força e pulsos indicados por LEDs, proteção IP65, filtro em polipropileno, válvulas labiais em silicone ou EPDM, válvula de injeção em polipropileno, diafragma em EPDM, cabeçote em polipropileno, nipples em polipropileno e vedações em silicone o EPDM.

- Ou seja, bomba construída em materiais termoplásticos específicos para suportar produtos quimicamente agressivos, ácidos ou alcalinos (sempre especificar que é para cloração de água para consumo humano).
- O Circuito eletrônico deve ser de alta precisão e a prova de explosão, para assegurar vazão constante ao longo do tempo.
- O acionamento deve ser magnético, eliminando peças rotativas garantindo longa vida útil e sem a necessidade de lubrificação.
- Vazão máxima de 10 litros/hora com ampla escala de regulagem do fluxo desde 0 até 100%. A pressão máxima de trabalho é de 4 a 13 bar.
- 01 (um) recipiente de polietileno (bombona) com capacidade para 50 litros.
- 01 (uma) bombona de 5 kg de cloro orgânico granulado, para água para consumo humano.



Figura 1: Modelos de bombas dosadoras.

#### 4.2 Instalação.

Nos sistemas de dessalinização, devido ao poder de oxidação do cloro, além dos itens que compõe o dessalinizador e que são na sua maioria componentes metálicos sujeitos a corrosão, também é necessário evitar qualquer contato deste com as membranas de osmose inversa que sofrem degradação na presença do mesmo.



O contato do cloro com as membranas destrói partes de sua película filtrante, aumentando a concentração de sais no permeado produzido. O permeado dos sistemas de dessalinização do Programa Água Doce é produzido em pequena escala, sempre em função da vazão do poço e da demanda por água potável da comunidade. Na maioria dos casos não operam continuamente e possuem um programa definido em dias e horas de funcionamento, sempre determinado no Acordo de Gestão firmado na comunidade. Sendo assim, haverá períodos em que o sistema ficará inoperante, sem vazão do permeado até que a próxima operação do dessalinizador seja iniciada. Pelo exposto, a dosagem do cloro nunca deve ser realizada na tubulação do permeado, pois na ausência de fluxo pode ocorrer o retorno do cloro para as membranas.

A Figura 2 mostra um modelo de bomba dosadora e o detalhamento de seus componentes. O filtro de sucção (I) deve ser colocado dentro do reservatório da solução de cloro e a válvula de injeção (H) deve ser colocada direto no reservatório do permeado, em nível diferente da tubulação do permeado, para que o gás cloro não retorne para as membranas.



Figura 2: Bomba dosadora e seus componentes.

A mangueira de injeção (K) deve ser direcionada até o reservatório do permeado, onde será realizada a dosagem de cloro, utilizando tubulação em PVC como proteção.

Considerando a instalação da bomba dosadora e a acomodação do reservatório da solução de cloro, deve-se construir uma estrutura dentro do abrigo com abertura interna que servirá para armazenar na parte de cima, a embalagem do cloro orgânico granulado e, na parte de baixo, a bombona com a solução de cloro que será dosada diretamente no reservatório do permeado, conforme mostram as Figuras 3 e 4. A bomba dosadora deve ser fixada no interior do abrigo do pós-tratamento, conforme mostra a Figura 3.



Figura 3: Interior do abrigo do sistema de pós-tratamento (parte superior).



Figura 4: Interior do abrigo do sistema de pós-tratamento (parte inferior).

#### 4.3 Preparo da Solução de Cloro

No preparo da solução de cloro devemos considerar uma medida padrão (10 ou 20 ml) para facilitar os procedimentos que farão parte da rotina do operador do sistema de dessalinização, simplificando em face da ausência de balanças para pesagem do insumo.

Podemos calcular a massa do produto contida no volume escolhido como medida padrão (10 ou 20 ml) a partir do valor da densidade que pode ser facilmente obtido através da ficha técnica do produto.

Exemplo:

Produto: ácido dicloroisocianúrico

Medida padrão: 10 mL

Densidade: 0,74 g/cm<sup>3</sup> (ficha técnica do produto)

Cálculo da massa do produto:

$$D = m_p/V_p \rightarrow m_p = D \times V_p$$

$$m_p = 0,74 \times 10 = 7,4 \text{ g}$$

Onde:  $m_p$  é a massa do produto em gramas,  $V_p$  é a medida padrão em mL e  $D$  é a densidade do produto em  $\text{g/cm}^3$ .

A partir da massa do produto obtida com a medida padrão calcula-se a massa de cloro ativo também contido no volume escolhido como medida padrão (10 ou 20 ml). Esse cálculo é realizado através do teor de cloro ativo que também pode ser obtido na ficha técnica do produto.

Exemplo:

Produto: ácido dicloroisocianúrico

Teor de cloro ativo = 60 % (ficha técnica do produto)

$$\text{Teor de cloro ativo} = (m_{\text{cl}}/m_p) \times 100$$

$$m_{\text{cl}} = \text{Teor de cloro ativo} \times m_p / 100$$

$$m_{\text{cl}} = 60 \times 7,4 / 100 = 4,44 \text{ g}$$

Onde:  $m_{\text{cl}}$  é a massa de cloro ativo em gramas e  $m_p$  é a massa do produto em gramas.

A concentração da solução preparada pode então ser calculada considerando que a quantidade de produto medido no volume padrão será dissolvida em 50 L de água (volume do recipiente de polietileno que será usado para armazenar a solução). Para o preparo da solução de cloro será utilizada a água produzida pelo dessalinizador (permeado). De forma semelhante, a concentração de cloro presente na solução pode ser calculada considerando a massa de cloro ativo calculada com base no teor de cloro ativo do produto.

Exemplo:

Cálculo da concentração da solução

$$C = m_p/V_s = 7,4/50 = 0,148 \text{ g/L} = 148 \text{ mg/L}$$

Cálculo da concentração de cloro na solução

$$C_{cl} = m_{cl}/50 \text{ L} = 4,44/50 = 0,0888 \text{ g/L} = 88,8 \text{ mg/L}$$

Onde:  $m_p$  é a massa do produto em gramas,  $V_s$  é o volume da solução preparada em mL,  $m_{cl}$  é a massa de cloro ativo em gramas,  $C$  é a concentração do produto na solução em mg/L e  $C_{cl}$  é a concentração de cloro ativo na solução em mg/L.

No exemplo dado, temos que para uma solução de 148 mg/L de ácido dicloroisocianúrico, a concentração de cloro ativo na solução é de 88,8 mg/L.

Realizados os cálculos necessários deve-se preparar a solução de cloro usando equipamentos de proteção individual conforme descrito no item 4.5.

Após colocar os equipamentos de proteção individual, deve-se pegar um recipiente em polietileno (jarra de água de 1 litro) e preencher com água do permeado. Em seguida, adiciona-se à jarra, a medida padrão com o produto para sua dissolução, com auxílio de uma espátula de polietileno. Quando o produto estiver dissolvido dentro da jarra deve-se transportar todo o conteúdo para a bombona de 50 litros e em seguida lavar o recipiente com o permeado e novamente transferir o conteúdo para a bombona. Repetir esta lavagem do recipiente mais duas vezes. Para finalizar, deve-se preencher o volume de 50 litros dentro da bombona para completar o preparo da solução com a concentração calculada.

A solução nunca deve ser preparada diretamente na bombona de 50 litros.

Nunca se deve preparar a solução adicionando água ao produto (granulado de cloro) no recipiente de preparo (jarra de polietileno). Sempre o produto será adicionado à água do permeado para posterior dissolução.

#### 4.4 Dosagem de Cloro.

Para o cálculo da dosagem de cloro que será realizada com auxílio da bomba dosadora considera-se que a vazão de dosagem da bomba ( $Q_D$ ) é função da

concentração de cloro ativo que se deseja aplicar (mínimo de 0,2 e máximo de 2 mg/L, segundo a portaria) e da diluição na vazão do permeado ( $Q_p$ ). Sabendo que a massa total de cloro no sistema será constante utilizamos para o cálculo, a equação aplicada para diluições de soluções em geral.

Exemplo:

$$Q_D \times C_{cl} = Q_p \times 1 \text{ mg/L}$$

$$Q_D = Q_p \times 1 \text{ mg/L} / C_{cl}$$

Considerando uma produção de 840 L/h de água dessalinizada, temos:

$$Q_D = (840 \times 1) / 88,8 = 9,46 \text{ L/h}$$

Onde:  $Q_D$  é a vazão de dosagem de cloro em L/h,  $C_{cl}$  é a concentração de cloro ativo na solução em mg/L e  $Q_p$  é o vazão do permeado em L/h.

Para o ajuste da vazão de dosagem, segundo as especificações técnicas apresentadas, considera-se a escala de regulação do fluxo (0 a 100%) e a vazão máxima de dosagem (30 L/h).

Exemplo:

$$\text{Regulagem do fluxo} = Q_D / Q_{\text{máx}} \times 100$$

$$\text{Regulagem do fluxo} = 9,46 \times 100 / 30 = 31,5 \%$$

A solução de cloro deve ser preparada e repostada diariamente ou sempre que o sistema entrar em operação, e os cálculos devem ser refeitos para cada sistema em particular, considerando sempre a demanda diária por água dessalinizada (L/dia) e o tempo de operação do equipamento (h/dia) de forma que o tempo de consumo da solução (h) não seja inferior ao tempo de operação. Mesmo que para isso sejam necessários outros valores estipulados como medida padrão e outras especificações para a bomba dosadora.

#### 4.5 Equipamentos de Proteção Individual.

O ácido dicloroisocianúrico nunca deve ser manipulado sem equipamento de proteção individual (EPI), conforme descrito a seguir:

- Proteção respiratória: Mascara com cartucho para gases ácidos.
- Proteção das mãos: Luvas de látex.
- Proteção dos olhos: Proteção facial ou óculos para produtos químicos.
- Proteção da pele e do corpo: Roupas e botas impermeáveis.

O Anexo 7.2 deste manual apresenta especificações técnicas para os EPIs recomendados.

Todos os equipamentos de proteção individual devem ser lavados com bastante água após o uso.

#### 4.6 Monitoramento do Cloro Residual Livre.

A medição do teor do cloro residual livre no permeado deve ser realizado na água do chafariz, diariamente, pois permite controlar o funcionamento do sistema de cloração e garante a ausência de contaminação na distribuição da água dessalinizada (permeado). Durante o monitoramento, deve-se deixar escoar bastante água na torneira do chafariz, antes de coletar a amostra para realizar a análise do cloro residual livre.

Para medição do cloro residual livre ou total, o método DPD é o recomendado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005. Na metodologia DPD, aprovada pela USEPA, o cloro livre reage com o reagente DPD (N-dietil-p-fenilendiamina) desenvolvendo uma coloração rósea cuja intensidade é proporcional a concentração de cloro existente na amostra. Sendo um método colorimétrico, a quantificação da concentração de cloro residual livre ou total é realizada através de um colorímetro ou dispositivo conhecido como “comparador de cloro”. Os resultados são expressos em mg/L de  $\text{Cl}_2$ .

Após cada análise de cloro residual livre do permeado, o resultado deve ser registrado pelo operador do sistema de dessalinização numa planilha ou tabela de monitoramento da cloração (Anexo 7.1) e deve-se verificar se o mesmo se encontra na faixa entre 0,2 a 2 mg/L, conforme estabelecido no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde (antiga Portaria nº 2.914/2011). Caso contrário, a bomba dosadora deverá ser regulada, aumentando ou reduzindo a vazão de dosagem, de forma a obter o resultado desejado e este deve ser conferido com nova análise do cloro residual livre na água do chafariz.

Como mencionado anteriormente, espera-se que não exista demanda de cloro no permeado produzido nos sistemas de dessalinização por osmose inversa. Porém, para efeitos de averiguação da expectativa, a quantificação da demanda de cloro do permeado pode ser verificada pela diferença entre a dosagem de cloro aplicada e o cloro residual livre.

Através do monitoramento do cloro residual livre pode-se determinar experimentalmente se existe alguma demanda de cloro e a dosagem de cloro na linha do permeado poderá ser ajustada modificando o ajuste da bomba dosadora de forma que sempre seja mantido o teor de cloro residual mínimo de 0,2 mg/L e máximo de 2 mg/L, conforme estabelecido no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde.

#### 4.7 Determinação do Cloro Residual Livre.

A quantidade de cloro na água como  $\text{Cl}_2$  (cloro elementar),  $\text{HOCl}$  (ácido hipocloroso) e  $\text{OCl}^-$  (íon hipoclorito) é denominada de cloro residual livre e é de extrema importância na inibição do crescimento bacteriano.

A determinação da concentração (mg/L) de cloro residual livre pode ser efetuada por meio de visualização colorimétrica (disco comparador) comumente usado, cujo método será descrito a seguir.



#### 4.7.1 Princípio do método

Oxidação da N-dietil-p-fenilendiamina (DPD) em presença de cloro ( $\text{Cl}_2$ ), ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ) e íons hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ), resultando num produto de reação vermelho violeta.

#### 4.7.2 Aparelhagem




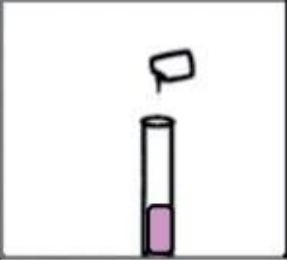
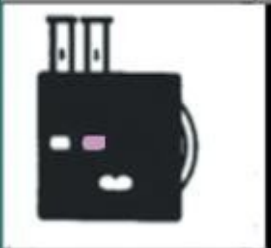

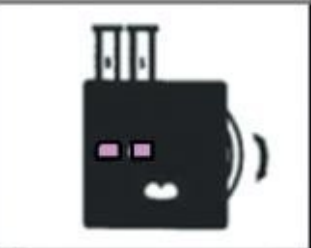

- Comparador Colorimétrico.
- Cubetas de vidro ou de acrílico.

#### 4.7.3 Reagentes

- DPD para cloro livre em cápsula ou em pó.

#### 4.7.4 Procedimento

- a) Encher uma cubeta com a amostra de água até a marca de 5,0 ml (branco);
- b) Colocar a cubeta com o branco na abertura superior esquerda do aparelho;
- c) Encher outra cubeta com a amostra a ser testada até a marca de 5,0 ml;
- d) Adicionar o DPD em pó ou em capsula na segunda amostra e misturar;
- e) Colocar a cubeta com a amostra na abertura superior direita do aparelho;
- f) Posicionar o comparador contra um fundo claro;
- g) Girar o disco até que as cores das duas amostras fiquem iguais;
- h) Dentro de 1 minuto, ler a concentração em mg/L de cloro;
- i) Em caso de dúvida, consultar o Manual de Instruções do Aparelho;
- j) Após realizar cada análise, registrar o resultado obtido na planilha de monitoramento do cloro residual livre (Anexo 7.1).

			
<b>1. Encher o tubo com a amostra até a marca de 5 mL. Branco.</b>	<b>2. Colocar o tubo com o branco do lado esquerdo do aparelho.</b>	<b>3. Encher outro tubo com 5 mL de amostra.</b>	<b>4. Colocar o pó (DPD) do saquinho dentro do tubo.</b>
			
<b>5. Colocar o tubo com a amostra do lado direito do aparelho.</b>	<b>6. Posicionar o comparador contra um fundo claro.</b>	<b>7. Girar o disco até que as cores das duas amostras fiquem iguais.</b>	<b>8. Dentro de 1 minuto, ler os mg/L de cloro.</b>

Fonte: Adaptado de Hach Company.FUNASA, 2014.

## 5 CARACTERÍSTICAS DO ÁCIDO DICLOROISOCIANURICO

- a) Fórmula Química:  $C_3Cl_2N_3O_3Na$
- b) Composição do Produto: Dicloroisocianurato de sódio (substancia pura).
- c) Propriedades:
- Teor de cloro ativo = 60 %
  - pH a 1% = 5,5 a 6,5
  - Densidade > 0,74 g/cm<sup>3</sup>
  - Solubilidade = 25 g/100 mL em água.
- d) Apresentação: Comercializado na forma sólida, o ácido dicloroisocianúrico, é um pó ou granulado branco, disponível nas formas de sais de sódio e potássio.
- e) Aplicações: É aplicado como fonte de cloro no tratamento de água potável, no tratamento de água de piscina ou como oxidante de efluentes.
- f) Embalagem: É fornecido em embalagens plásticas de 5 kg e 10 kg.
- g) Cuidados no manuseio:
- O manuseio deverá ser realizado com equipamentos de proteção individual, conforme descrito no item 4.5.
  - Evitar o contato com a pele, mucosa e olhos.
  - Evitar a inalação do produto concentrado.
  - Não ingerir.
  - Não contaminar o produto com outras substâncias.

- Havendo danos na embalagem ou vazamento de produto, nunca retornar a embalagem original. Colocar o material derramado em recipiente limpo, íntegro e seco, e descartar mediante diluição com bastante água.

h) Armazenamento:

- A área deve ser bem ventilada, com piso resistente a ácidos.
- Manter sobre estrado de madeira em local seco e ventilado.
- Não permitir o contato com combustíveis e inflamáveis.
- Manter sempre o produto na embalagem original, fechado em lugar fresco e seco, evitando umidade.

i) Precauções:

- Conserve fora do alcance de crianças e animais.
- Não misturar com outro produto químico, especialmente outros produtos à base de cloro.
- Enxaguar a embalagem vazia antes de descartá-la.
- Não reutilizar a embalagem vazia.
- Lavar os objetos ou utensílios usados como medida, antes de reutilizá-los.

j) Principais vantagens na utilização do produto: maior solubilidade, maior estabilidade, dosagem mais precisa, menor risco químico, baixa toxicidade e menor formação de subprodutos da desinfecção quando comparados aos derivados clorados de origem inorgânica. Ressalta-se que os derivados clorados de origem orgânica não formam, em níveis considerados significativos, os chamados trihalometanos, que são considerados potencialmente cancerígenos.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DYCHDALA, G. R., Chlorine and chlorine compounds. In: Bloch, S. S. (Ed.) Disinfection, sterilization and preservation, 4 ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991. P. 131-151.

Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ. Produto: Ácido Dicloroisocianúrico. Sasil Comercial e Industrial de Petroquímicos Ltda, 2008.

FUNASA, Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades. Brasília, 2014.

FUNASA, Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS. Brasília, 2014.

MACÊDO, J.A.B. de; BARRA, M. M. Derivados Clorados de Origem Orgânica: Uma Solução para o Processo de Desinfecção de Água Potável e para Desinfecção de Indústrias. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória, ES, 2002.

Organização Pan-Americana da Saúde. Fascículo água: a desinfecção da água. Brasília: Opas, 1999.

BRASIL, Ministério da Saúde, Padrão de Potabilidade. Brasil, Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 (antiga Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011, D.O.U. de 14/12/2011 - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade).

Resolução nº 150, de 28 de maio de 1999, D.O.U. de 01/06/1999 - Autoriza a inclusão da substância ácido dicloroisocianúrico e seus sais de sódio e potássio no Anexo II – item 2, como princípio ativo autorizado para uso em formulações de produtos destinados a desinfecção de água para consumo humano, da Portaria 152, de 26 de fevereiro de 1999, D.O.U. de 01/03/1999.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005.

TOMINAGA, M. Y., MIDIO, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. Revista de Saude Publica, v. 33, n. 4, p. 413-421, 1999.

TROLLI, A. C.; IDE NOBOYOSHI, C.; SILVEIRA PALHANO, F. M. M. S.; MATTA, M. H. R. Trihalometanos em água tratada, após cloração com hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio, cloro gasoso, e dicloroisocianurato de sódio, utilizando cromatógrafo gasoso acoplado a espectrometro de massa, sistema Purge and Trap. In: 2º Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste, Campo Grande, MS, 2002.

USEPA, Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, Method 330.5, 1983. APHA Standard Methods, 21st ed., Method 4500-Cl G, 2005.

## 7 ANEXO

### 7.1 Modelo de Planilha para Monitoramento do Cloro Residual Livre.

MUNICÍPIO:\_\_\_\_\_. ESTADO:\_\_\_\_\_.

LOCALIDADE:

.

MÊS:\_\_\_\_\_. ANO:\_\_\_\_\_. CLORO APLICADO (mg/L):\_\_\_\_\_.

DIA	TDS (mg/L)	CLORO RESIDUAL (mg/L)	DEMANDA DE CLORO (mg/L)
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			

## 7.2 Especificações e características técnicas para os EPI's recomendados.

TIPO DE EPI	ESPECIFICAÇÕES E CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	FUNÇÃO
<b>CALÇADO FECHADO</b> 	De couro ou material resistente.	Proteger os pés no caso de acidentes com perfurocortantes ou com produtos químicos.
<b>JALECO E AVENTAL</b> 	Deve ser confortável. Atenção na manipulação de produtos químicos, pois o tecido de poliéster pode ser de fácil combustão. Deve ter mangas longas e ir até os joelhos do profissional.	Proteger o profissional do contato com material contaminado. Funciona como barreira de proteção.
<b>LUVAS DESCARTÁVEIS</b> 	Devem ser resistentes, confortáveis e estar de acordo com as normas do INMETRO.	Funciona como barreira primária e protege o operador do contato com micro-organismos patogênicos.
<b>MÁSCARAS OU RESPIRADORES</b> 	Existem vários tipos de máscaras, e o uso deste EPI vai depender do experimento ou da técnica desenvolvida. Verifique com o fabricante quais as especificações necessárias para cada técnica. Veja os prazos de validade deste EPI.	Proteger o profissional do contato com material contaminado, de aerossóis e de produtos químicos.
<b>ÓCULOS DE PROTEÇÃO</b> 	Deve ser leve, resistente, confortável, ergonômico e transparente.	Protege os olhos da exposição de lançamentos de respingos ou aerossóis de origem biológica ou química.
<b>PROTETOR FACIAL</b> 	Deve ser leve, resistente, e ainda, transparente e ergonômico, com dispositivo que permita fazer ajustes para a cabeça.	Proteger os olhos, a face e as mucosas contra partículas, respingos e aerossóis de origem biológica ou química.

Fonte: FUNASA, 2014.