



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
QUÍMICA INDUSTRIAL**

**RONALDO AUGUSTO LEITE FILHO**

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE MEMBRANA CERÂMICA EM TERMOS DE  
ÍNDICE DE DENSIDADE DE SEDIMENTOS, COR E TURBIDEZ PARA UMA  
SOLUÇÃO BENTONÍTICA**

**CAMPINA GRANDE - PB  
2018**

**RONALDO AUGUSTO LEITE FILHO**

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE MEMBRANA CERÂMICA EM TERMOS DE  
ÍNDICE DE DENSIDADE DE SEDIMENTOS, COR E TURBIDEZ PARA UMA  
SOLUÇÃO BENTONÍTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do Título de bacharel em Química Industrial.

**Orientadora:** Profa. Dra. Márcia Izabel Cirne França

**CAMPINA GRANDE - PB  
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

L533e Leite Filho, Ronaldo Augusto.  
Estudo do desempenho de membrana cerâmica em termos de índice de densidade de sedimentos, cor e turbidez para uma solução bentonítica [manuscrito] : / Ronaldo Augusto Leite Filho. - 2018.  
33 p. : il. colorido.  
  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2018.  
"Orientação : Profa. Dra. Márcia Izabel Cime França , Departamento de Química - CCT."  
  
1. Membrana cerâmica. 2. Bentonita. 3. Índice de Densidade de Sedimentos.  
  
21. ed. CDD 660

RONALDO AUGUSTO LEITE FILHO

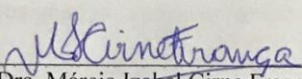
**ESTUDO DO DESEMPENHO DE MEMBRANA CERÂMICA EM TERMOS DE  
ÍNDICE DE DENSIDADE DE SEDIMENTOS, COR E TURBIDEZ PARA UMA  
SOLUÇÃO BENTONÍTICA**

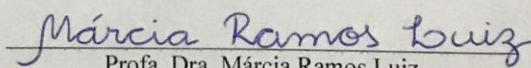
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação em Química Industrial  
da Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do Título de  
bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Água.

Aprovado em: 15 / 06 / 2018.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Márcia Isabel Cirne França (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Márcia Ramos Luiz  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Djane de Fátima Oliveira  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Á Deus, aos meus pais Ronaldo Leite, Antonia Néibia  
e a minha irmã Renata Gizani, **DEDICO**.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar e conduzir e traçar os meus melhores caminhos, dando força, respeito e sabedoria para enfrentar as dificuldades.

Aos meus pais, Ronaldo Leite e Nélbia Moura que me orientaram a persistir em almejar meus sonhos e a minha irmã Renata Gizani. A minha namorada Rossana Oliveira pelo apoio, cumplicidade e carinho dedicado todos os dias, principalmente nos momentos de angústia. Obrigado por estar sempre ao meu lado.

A toda minha família, pela confiança depositada, pelo apoio sempre que possível e pela compreensão por minha ausência nas reuniões familiares.

Aos meus professores do curso, em especial a minha orientadora Márcia Cirne, por ter contribuído ao longo dos projetos de pesquisa.

Aos funcionários do LABDES, João e o Professor Kepler Borges França, pela presteza e atendimento, quando se foi necessário.

Meu agradecimento a todos que ao longo da graduação passaram pela minha vida. E a aquelas que contribuíam direta ou indiretamente na contribuição nesse trabalho.

“Quatro coisas para o sucesso: trabalhar e orar,  
pensar e acreditar.” Dr. Norman Vincent Peale

## RESUMO

Neste trabalho, realizou-se um estudo com um sistema membrana cerâmica visando avaliar a remoção/redução de turbidez, cor e avaliar o Índice de Densidade de Sedimentos (IDS) utilizando membranas cerâmicas como meio filtrante de incrustações contida na água em estudo (água do abastecimento público de Campina Grande – PB com adição de bentonita). As membranas cerâmicas foram fabricadas com matéria prima natural regional no Laboratório de Membrana Cerâmica – LABCEM juntamente com o Laboratório de Referência em Dessalinização – LABDES, ambos estabelecidos na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. As análises físico-químicas realizadas foram: turbidez, cor, condutividade e pH, e o IDS. Os resultados evidenciam a eficiência do sistema membrana cerâmica na remoção da cor e na redução da turbidez. Já para o IDS, houve uma diminuição nos primeiros 10 minutos de experimento, todavia para os 30 minutos de experimento, houve um aumento do índice de incrustações encontrando-se fora da faixa do limite aceitável ( $<3$ ), justificado pelo fato de ter ocorrido a passagem de partículas de bentonita pelo os poros das membranas, por elas possuírem diâmetro menores que o diâmetro dos poros da membrana.

**Palavras-Chave:** Índice de Densidade de Sedimentos, Membrana Cerâmica, Bentonita.



## ABSTRACT

In this work, a membrane ceramic system was studied in order to evaluate the removal / reduction of turbidity, color and to evaluate the Sediment Density Index (IDS) using ceramic membranes as a fouling filter medium contained in the study water public of Campina Grande - PB with addition of bentonite). The ceramic membranes were manufactured with regional natural raw material in the Ceramic Membrane Laboratory - LABCEM together with the Laboratory of Reference in Desalination - LABDES, both established at the Federal University of Campina Grande - UFCG. The physico-chemical analyzes were: turbidity, color, conductivity and pH, and IDS. The results demonstrate the efficiency of the ceramic membrane system in the removal of color and the reduction of turbidity. For the IDS, there was a decrease in the first 10 minutes of the experiment, however for the 30 minutes of the experiment, there was an increase in the scale index being outside the acceptable limit range ( $<3$ ), justified by the fact that it occurred the passage of bentonite particles through the pores of the membranes, because they have a diameter smaller than the diameter of the membrane pores.

**Keywords:** Sediment Density Index. Ceramic Membrane. Bentonite

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Esquema de separação por membrana.....	14
Figura 2 –	Equipamento básico para medida do IDS.....	18
Figura 3 –	Sistema de tratamento.....	19
Figura 4 –	Fluxograma do sistema.....	20
Figura 5 –	Equipamento de análise do IDS (A) e membrana posicionada no mesmo (B).....	21
Figura 6 -	Momento da coleta da amostra.....	21
Figura 7 –	Sistema de Ultrassom.....	22
Figura 8 –	Variação da turbidez em função do tempo para E <sub>1</sub> e E <sub>2</sub> , após tratamento pela membrana cerâmica.....	23
Figura 9 –	Variação da cor em função do tempo para E <sub>1</sub> e E <sub>2</sub> , após tratamento pela membrana cerâmica.....	24
Figura10 –	Variação da condutividade e pH em função do tempo, após tratamento pela membrana cerâmica.....	25
Figura 11-	Membranas dos IDS para E <sub>1</sub> .....	26
Figura 12–	Membranas dos IDS para E <sub>2</sub> .....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões aceitáveis de qualidade da água de alimentação para sistema de membrana cerâmica.....	16
Tabela 2 - Faixa de valores de IDS e as prováveis condições de operação.....	17
Tabela 3 – Proporção de massa de bentonita em função da concentração.....	20
Tabela 4 – Parâmetros físico-químicos da água de alimentação.....	23
Tabela 5 – Medidas do IDS.....	25
Tabela 6 – Dados de $E_1$ .....	27
Tabela 7 – Dados de $E_2$ .....	27

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1	OBJETIVOS .....	12
1.1.1	Objetivo Geral .....	12
1.1.2	Objetivos Específicos .....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
2.1	ÁGUA.....	13
2.2	BENTONITA.....	13
2.3	CARACTERÍSTICAS DAS MEMBRANAS.....	14
2.4	MEMBRANA CERÂMICA.....	15
2.5	ÍNDICE DE DENSIDADE DE SEDIMENTOS.....	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	19
3.1	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	19
3.2	LIMPEZA QUÍMICA DA MEMBRANA CERÂMICA.....	22
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	23
4.1	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS PÓS MEMBRANAS CERÂMICAS.....	23
4.2	MEDIDAS DO IDS.....	25
4.3	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS APÓS IDS.....	27
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	29
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	30

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental à vida. Devido ao uso intensivo e irregular juntamente com sua distribuição inadequada, essa vem se tornando cada vez mais escassa. O subsolo possui mananciais hídricos com teores de contaminantes inadequados ao consumo humano, possibilitando a existência de vários processos de filtração de pequeno porte que atendem economicamente a demanda da água para consumo humano, que consiste na retenção ou redução desses contaminantes (BERGAMASSO *et al*, 2011).

Diversos processos são utilizados para microfiltração e/ou ultrafiltração de líquidos, um deles é através de membranas cerâmicas. As membranas sintéticas são as orgânicas feitas com materiais poliméricos, e as inorgânicas onde se classificam as membranas cerâmicas, vidro, aço inox e carbono (LEGNER, 2015).

Os processos de separação com membranas vêm ganhando espaço nas etapas de separação dos processos industriais, onde é beneficiada pela simplicidade de operação, pequeno espaço físico ocupado, sem necessidade de adição de agentes químicos, baixo consumo de energia e a possibilidade de combinação com outros processos clássicos de separação (VARGAS, 2013).

O processo de separação com membrana cerâmica é usado como tratamento da água a fim de reduzir o potencial de incrustações na água de alimentação trabalhada, cor e turbidez, onde o Índice de Densidade de Sedimentos (IDS) deve ser monitorado para verificação do índice de incrustação da água de alimentação. O acúmulo de contaminantes na superfície ou dentro dos poros da membrana acarreta na diminuição do fluxo do permeado (amostra após a passagem pela membrana) (AMTA, 2007).

A membrana filtrante de mistura de ésteres, que é adicionada ao equipamento do IDS, é uma película plástica microporosa com tamanho de poros específicos para cada tipo de partícula. São membranas que retêm partículas ou microorganismos maiores que seu tamanho de poro através da interação em superfície. São quimicamente e biologicamente limpas, através de um programa de qualidade com reagentes e matérias-primas de alta pureza.

Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho consiste em estudar o desempenho de membrana cerâmica como tratamento em função da avaliação do IDS, visando observar o comportamento do sistema de membrana como alternativa para redução dos parâmetros físico-químicos, tais como: turbidez, cor, condutividade e pH.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar o Índice de Densidade de Sedimentos (IDS) em função da cor e turbidez da água de alimentação de processos com membrana cerâmica.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Estudar o comportamento do IDS em função da cor e turbidez de águas antes e após o tratamento com membranas cerâmicas.
- Avaliar o IDS em soluções aquosas contendo a presença de argilas bentoníticas como um componente gerador de cor e turbidez.
- Averiguar a variação da turbidez, cor, condutividade elétrica e pH antes e após o tratamento com membranas cerâmicas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Água

A água é o componente mais abundante encontrado na natureza e cobre aproximadamente 75% da superfície da Terra. Ela se encontra dispersada em toda a biosfera, formando os oceanos, os mares, os lagos, os rios e os aquíferos subterrâneos; além de participar da constituição dos seres vivos, na atmosfera e ser presente nas estruturas de vários minerais. Muitos fatores contribuem para limitar a quantidade de água disponível para consumo humano tornando-a, assim, escassa. De toda concentração de água presente no planeta, cerca de 97,5% encontra-se nos oceanos; 1,7% nas camadas de gelo e os 0,8% nos rios, lagos e águas do subsolo (GAUTO, 2013).

A eficiência dos processos convencionais de tratamento de água utilizados amplamente em estações de tratamento é limitada quanto à remoção de compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos de baixo peso molecular (KISO *et al*, 2000).

A presença destes contaminantes em meio aquoso pode trazer dificuldades para o tratamento da água, em virtude da eventual necessidade de tecnologias mais complexas do que aquelas normalmente aplicadas à potabilização.

### 2.2 Bentonita

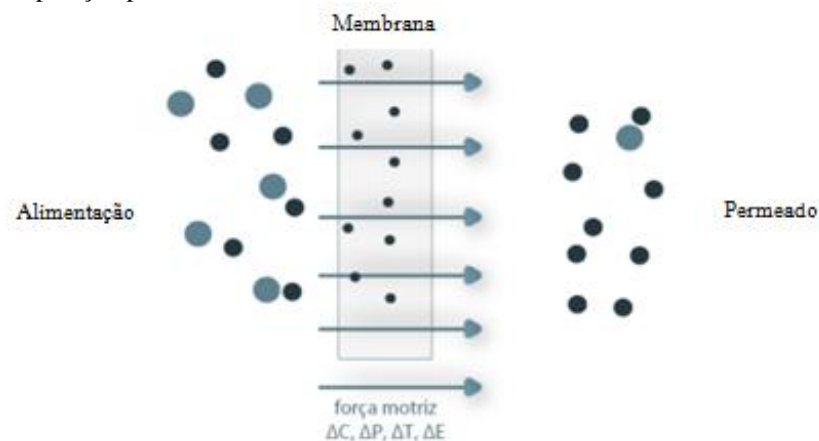
As bentonitas produzidas no Brasil são cálcicas, que não se esfoliam em suspensão aquosa: o inchamento de suas partículas é pequeno e elas se precipitam rapidamente e o país não tem reservas de bentonitas sódicas, que adsorvem água continuamente inchando e aumentando de volume até a completa esfoliação de suas lamelas cristalinas em água (NETO; ALBUQUERQUE, 2009). Toda bentonita sódica disponível no país ou é importada ou é produzida a partir da bentonita cálcica, em um processo de beneficiamento (ativação), usando carbonato de sódio (ALVES *et al*, 2008).

A bentonita pertence ao grupo das esmectitas, onde seu principal constituinte é a montmorilonita. Possui partículas de tamanhos que variam de 2,0  $\mu\text{m}$  a 0,1  $\mu\text{m}$  de diâmetro e, tamanho médio de aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$ , na forma de placas ou lâminas (PERGHER *et al*, 1999 e SANTOS, 1989).

### 2.3 Características das Membranas

Membrana é definida como uma barreira que separa duas fases e que restringe total ou parcialmente, o transporte de uma ou varias espécies químicas presentes nas fases, como apresenta a Figura 1. Esta trabalha sem adição de agentes químicos, com uso relativamente baixo de energia, facilidade de processamento e arranjos físicos compactos. É empregada em processos de separação na indústria química, metalúrgica, têxtil e de papel, em aplicações farmacêuticas e de biotecnologias, no tratamento de efluentes industriais e residências, na reciclagem e no processo de alimentos e bebidas (MULDER, 1996).

**Figura 1:** Esquema de separação por membrana



Fonte: MULDER, 1996.

Segundo Medeiros *et al*, (2013), são meios filtrantes que possuem poros de dimensões variadas que são responsáveis por todas as propriedades que torna as membranas úteis em suas diversas aplicações, tanto para separar partículas, como para fracionar moléculas de diferentes massas molares.

Quanto à geometria, as membranas podem ser fabricadas em diferentes geometrias: discos planos, tubos, fibras ocas ou multi-canal de elementos de membranas cerâmicas, folhas, espiras ou de hélice (JULBE *et al*, 2001).

As membranas tubulares apresentam vantagens sobre as planas para certas aplicações analíticas, são elas: alta seletividade, resistência e entupimentos. Essas utilizadas quando o fluxo de alimentação contém grande quantidade de sólidos em suspensão ou componentes fibrosos e apresentam elevada resistência à pressão (ZHOU *et al*, 2012). As informações sobre a estrutura química, a hidrofobicidade e a carga são necessárias para uma melhor compreensão da estabilidade da membrana em diferentes condições. Os fabricantes costumam



disponibilizar algumas informações a respeito das características operacionais da membrana, porém o uso de métodos auxiliares pode colaborar para sua caracterização (LI *et al.*, 2008).

Para determinada aplicação, o tipo de membrana influencia nas características a serem avaliadas, por isso é necessário conhecer a morfologia da mesma. Os materiais que constituem a membrana podem ser classificados sob três tipos: polímeros sintéticos (ex.: polipropileno, perfluoropolímeros, elastômeros, poliamidas e polisulfonas), produtos naturais modificados a base de celulose (acetato de celulose, diacetato/triacetato de celulose) e materiais inorgânicos (cerâmicos, metálicos, líquidos) (SCOTT, 1995).

As membranas orgânicas são fabricadas em polímeros, eles possuem temperatura, pressão e pH limitados e tolerância a agentes oxidantes (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Já as membranas inorgânicas possuem algumas vantagens, como: alta resistência térmica e mecânica e maior estabilidade química quando comparadas às membranas poliméricas convencionais. No entanto, sua estrutura física é sensível, podendo sofrer danos a partir das vibrações causadas pelo sistema (CUI; MURALIDHARA, 2010).

### **3.4 Membrana Cerâmica**

A grande maioria das membranas utilizadas comercialmente é orgânica. Entretanto, o interesse pelos materiais inorgânicos tem crescido bastante e devido às limitações existentes no uso das membranas poliméricas, as membranas cerâmicas surgem como opção (CHAVES *et al.*, 2013).

Entre suas vantagens, as membranas cerâmicas inorgânicas proporcionam alternativas mais econômicas e com maior controle para o desenvolvimento da tecnologia de separação. Possui também, alta resistência química frente a ambientes agressivos (ácidos e/ou básicos), resistência a elevadas temperaturas e pressões, permitindo filtração com alta velocidade tangencial, maior vida útil e facilidade de limpeza (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Mas possui suas desvantagens, são elas: alto custo de fabricação, devido ao transporte e ao custo das matérias-primas que são importantes e sintéticas, e pouca resistência mecânica, caracterizada pela fragilidade do material (SCOTT, 1995).

Os fluxos obtidos com água pura pelas membranas são geralmente diferentes daqueles obtidos com soluções de alimentação reais. Dependendo da composição da solução de alimentação, o fluxo pode variar de uma percentagem mínima até a uma completa perda de fluxo (VAN DER BRUGGEN, BRAEKEN e VANDECASTEELE, 2002). O desempenho das membranas é fortemente influenciado por suas propriedades físicas e químicas. Uma

membrana ideal seria aquela que produz altos fluxos sem promover a presença de incrustações; sejam fisicamente duráveis; quimicamente estáveis; não biodegradáveis; quimicamente resistentes e de baixo custo (SCOTT, 1995).

Dentre os principais causadores das incrustações, estão: os materiais particulados, sais inorgânicos precipitados; metais oxidados e matéria orgânica. Tanto a matéria orgânica quanto a inorgânica pode causar incrustações e com isso geram efeitos como o bloqueio dos poros (*plugging*) e a formação de uma camada gel na superfície da membrana (*cake*) devido ao acúmulo excessivo destes materiais. Resultando no aumento da resistência ao fluxo e queda no desempenho do sistema (TAYLOR; WIESNER, 1999; CRITTENDEN *et al*, 2012).

Alguns parâmetros de qualidade da água podem ser caracterizados como indicadores da condição da água de alimentação para sistemas de membranas. A Tabela 1 relaciona alguns desses parâmetros com seus respectivos limites máximos recomendáveis.

**Tabela 1:** Padrões aceitáveis de qualidade da água de alimentação para sistema de membrana cerâmica.

Parâmetros	Valores máximos recomendáveis
Turbidez	0,5 uT
Cor	2 mg Pt-Co/L
IDS	3

Fonte: Adaptado de AMTA, 2007.

Há grandes reservas de recursos naturais na região nordeste para produção de membrana cerâmica. Na cidade de Campina Grande - PB, o Laboratório de Membrana Cerâmica - LABCEM, da Universidade Federal de Campina Grande, vem confeccionando e colaborando com o desenvolvimento de membranas cerâmicas para microfiltração utilizando-se de matérias-primas regionais de baixo custo visando diminuir os custos de produção (SILVA, 2009).

As membranas cerâmicas utilizadas possuem 0,1 a 0,2  $\mu\text{m}$  de diâmetro e para a sua produção, utilizou-se das seguintes matérias-primas: argila 48%, proveniente da cidade de Cubatí – PB; caulim 22%, proveniente de Assunção – PB e quartzo 30%, proveniente de Parelhas - PB (CHAVES *et al*, 2013).

## 2.5 Índice de Densidade de Sedimentos

O Índice de Densidade de Sedimentos (IDS) é usado extensamente na predição da formação de incrustações da água de alimentação e em projetos de sistema de dessalinização que determina a qualidade da água que será dessalinizada (MINDLER; EPSTEIN, 1986). As incrustações, chamado também de depósitos colóides (*fouling* coloidal), podem ser entendidas como todo material em suspensão na água e que se deposita na superfície da membrana afetando a produtividade, diminuindo o fluxo de água produzida (AMJAD, 1992).

A água de alimentação tende a bloquear os poros da membrana e o IDS pode avaliar com testes específicos essa tendência de incrustação. A alta propensão de biofilmes das águas de superfície é evidenciada pelos altos valores do IDS. O ideal seria que a água bruta tivesse valor o mais baixo possível, menor que um (EBRAHIM *et al*, 1997; MARSH *et al*, 1999).

O IDS é considerado também uma medida utilizada para se verificar a eficiência do pré-tratamento, porém não é uma medida absoluta (KRAEMER, 2009). Na Tabela 2 estão indicadas as faixas típicas de IDS.

**Tabela 2:** Faixa de valores de IDS e as prováveis condições de operação

Faixa de IDS	Condição
<1	As membranas podem ser utilizadas por vários anos sem a presença de incrustações.
1-3	As membranas podem ser utilizadas por vários meses entre etapas de limpeza.
3-5	As incrustações por partículas pode ser um problema frequente. Necessidade de limpeza regular.
>5	Necessidade de pré-tratamento

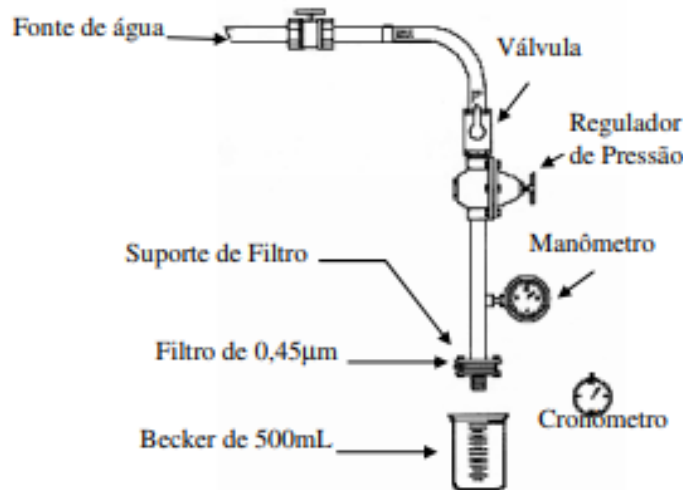
Fonte: Adaptado de BAKER, 2004.

O teste de IDS é um teste de *fouling* (sujeira) por filtração frontal que 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. Águas com índices excessivos de *fouling* podem causar o bloqueio irreversível de módulos espirais, e devem ser submetidas a algum tipo de pré-tratamento que produza um efluente com características adequadas para processamento por membranas (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Os limites máximos para cor e turbidez após passar pelo sistema de membrana devem ser: 2 mg Pt-Co/L e 0,5 uT, respectivamente, e o valor ideal para o IDS deve ser de <3 (AMTA, 2007).

O equipamento básico para avaliação do IDS, ilustrado na Figura 2, consiste de um sistema de filtração pressurizada equipado com filtros de 0,45 µm de porosidade de 47 mm. A amostra deve ser filtrada a uma pressão de 30 psig (2,0 kgf/cm<sup>2</sup>) (TAYLOR; JACOBS, 1996).

**Figura 2:** Equipamento básico para medida do IDS



Fonte: 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 de tempo ( $t_t$ ) varia de 5, 10 e 15 minutos, o qual 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  $t_t$  é 15 minutos. O IDS é determinado pela Equação 1 (TAYLOR; JACOBS, 1996).

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

(1)

### 3 METODOLOGIA

As atividades foram desenvolvidas no Laboratório de Referência de Dessalinização – LABDES estabelecido na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em parceria com o Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB. As amostras recolhidas foram coletadas no próprio laboratório onde a água era oriunda do abastecimento da cidade de Campina Grande - PB.

Foram utilizadas membranas cerâmicas confeccionadas pelo LABDES, que possuem em sua constituição matérias-primas naturais: argila 48%, quartzo 30% e caulim 22% em escala laboratorial, utilizando como processo de produção a extrusão (CHAVES *et al*, 2013).

#### 3.1 Procedimentos experimentais

O sistema foi composto de uma bombona de 240L, sendo utilizados 200L, uma bomba de ½ - HP com função de impulsionar a água depositada na bombona para as duas membranas cerâmicas que estavam dispostas em paralelo (com diâmetro de 2 cm) e com porosidade conhecida ( $<1\mu\text{m}$ ), apresentado na Figura 3.

**Figura 3:** Sistema de tratamento



Fonte: Própria, 2018

Os experimentos foram realizados em batelada, com duração de 60 minutos em temperatura ambiente e com pressão de 2 bar.

A água manuseada foi oriunda do abastecimento de Campina Grande adicionando-se bentonita variando sua concentração de 0,05g/L e 0,10g/L em 200L, como apresenta a Tabela 3.

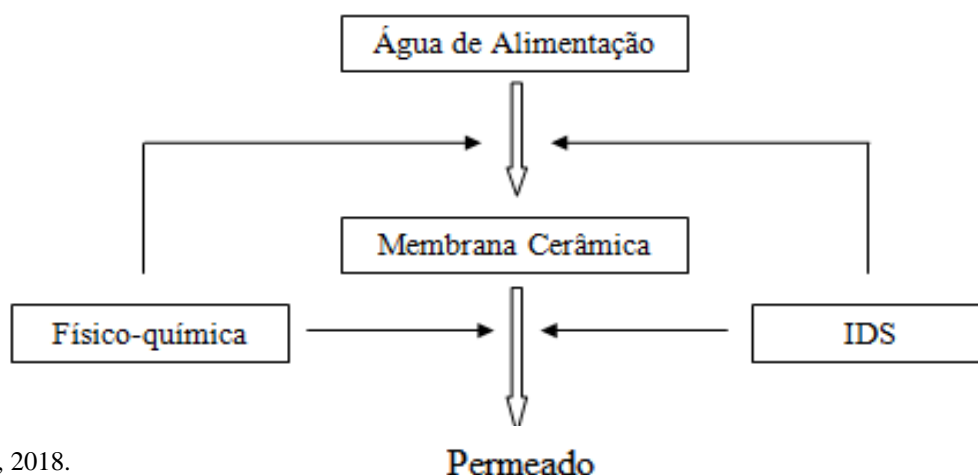
**Tabela 3:** Proporção de massa de bentonita em função da concentração

Experimentos	Massa de Bentonita	Concentração
E <sub>1</sub>	10g	0,05 g/L
E <sub>2</sub>	20g	0,10 g/L

Fonte: Própria, 2018

Inicialmente coletou-se uma amostra da água de abastecimento sem adição de bentonita e feita análise físico-química para fins de comparação com a água adicionada de bentonita (água de alimentação). Em seguida a bentonita foi pesada com massa de 10g e 20g para 200L. Na Figura 4 encontra-se o fluxograma do processo com as etapas que foram realizadas.

**Figura 4:** Fluxograma do sistema



Fonte: Própria, 2018.

Posteriormente, após adição da bentonita para cada experimento (E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>) com suas respectivas concentrações, ambos passaram pelo sistema de membrana cerâmica sendo coletado a cada 10 minutos um volume de 500 mL durante 60 minutos para avaliação dos parâmetros físico-químicos, como: turbidez (uT); cor (mg Pt-Co/L); condutividade elétrica (μS/cm) e pH (potencial hidrogeniônico). O IDS foi realizado na água de alimentação e após

passagem pelas membranas cerâmicas, para cada concentração, sendo este último coletado em dois pontos, no tempo 10 e 30 min, para cada experimento.

Dando início ao processo da passagem da água de alimentação pelas membranas, a água acondicionada na bombona é bombeada ajustando a válvula localizada antes das membranas até pressão desejada para estudo (2 bar). No decorrer dos 60 minutos de fluxo contínuo, coletou-se a cada 10 minutos uma amostra numa proveta aferindo 500 mL para realização das análises físico-químicas e, em um segundo recipiente, coletado outra amostra em determinado tempo para análise do IDS. A Figura 5 e 6 ilustram essa fase.

**Figura 5:** Equipamento de análise do IDS (A) e membrana posicionada no mesmo (B).



Fonte: Própria, 2018

**Figura 6:** Momento da coleta da amostra



Fonte: Própria, 2018

### 3.2 Limpeza química da membrana cerâmica

Entre um experimento e outro as membranas cerâmicas foram colocadas de molho no ultrassom sob água com hipoclorito de sódio durante 1 hora e posteriormente trocado o líquido por água deionizada e sabão deixando por mais 30 minutos, para liberar os poros ainda obstruídos, pode ser verificado na Figura 7. Por fim, lavado com água corrente.

**Figura 7:** Sistema de Ultrassom



Fonte: Própria, 2018

Não existe um procedimento único para limpeza química, a forma como realizá-la vai depender das condições que se encontra a membrana, seja ela cerâmica ou polimérica, em termos de conservação, qualidade da água de alimentação, tempo que se encontra funcionando, parado ou quebrado e o tipo de pré-tratamento. Um prévio conhecimento, através de um diagnóstico completo, incluindo as análises físico-química da água de alimentação, permeado e concentrado, do sistema seria importante para caracterização da limpeza química.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análises Físico-Químicas pós membranas cerâmicas

Os experimentos foram realizados a partir das soluções produzidas e conseguinte coleta das amostras sendo feito as análises físico-químicas. Sendo assim, as análises da água de alimentação sem bentonita e com adição da mesma estão apresentadas na Tabela 4.

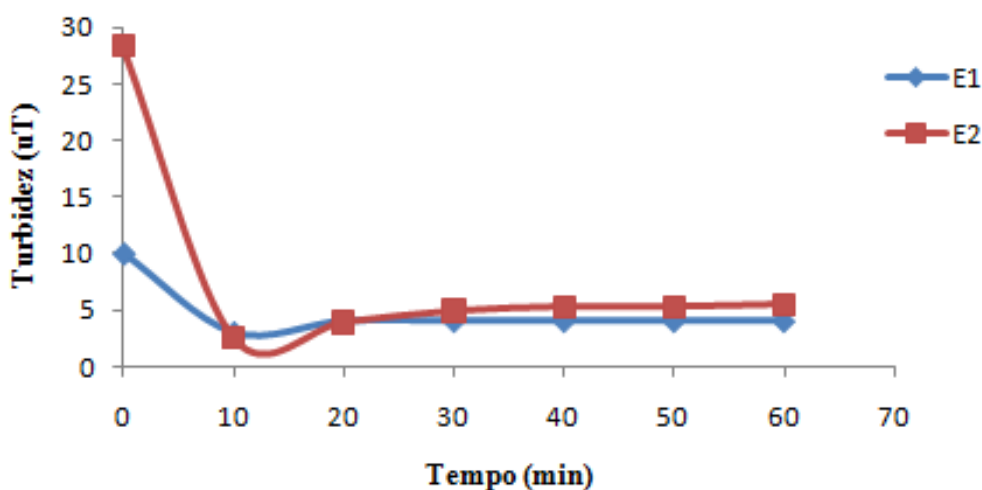
**Tabela 4:** Parâmetros físico-químicos da água de alimentação

Experimentos	Turbidez ( $\mu\text{T}$ )	Cor (mg Pt-Co/L)	Condutividade ( $\mu\text{S}$ )	pH
<i>Sem Adição</i>	1,20	0	373,84	7,64
E <sub>1</sub>	10	6	279,30	7,50
E <sub>2</sub>	28,4	26	244,90	7,82
<b>Limites</b>	<5	<5	800,00	4 - 10

Fonte: Própria, 2018

A Figura 8 apresenta a variação da turbidez com o tempo das amostras coletadas após o sistema de membrana cerâmica em paralelo.

**Figura 8:** Variação da turbidez em função do tempo para E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>, após tratamento pela membrana cerâmica



Fonte: Própria, 2018

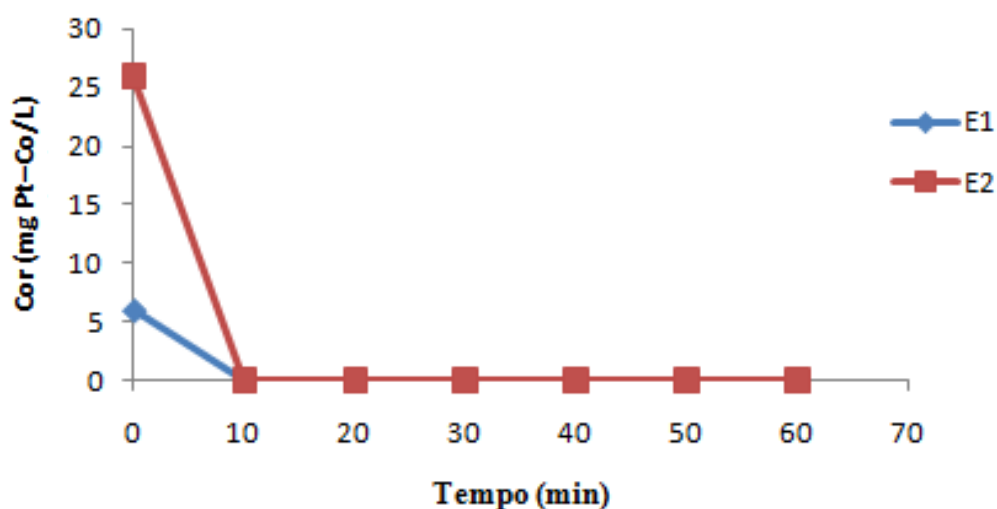
Observa-se uma diminuição considerável na turbidez nos 10 primeiros minutos para ambos os experimentos, justificado pelo fato das membranas cerâmicas, que se encontram na faixa de microfiltração, terem retido as partículas de bentonita contribuindo para que houvesse a diminuição da turbidez.

No experimento E<sub>1</sub>, os valores de turbidez conseguidos após sistema membrana cerâmica se mantiveram constantes e foram abaixo do limite permissível pela Portaria do Ministério da Saúde que é de 5 µT, evidenciando a eficiência do tratamento.

Para o experimento E<sub>2</sub>, no decorrer do tempo, percebeu-se que a turbidez foi aumentando gradativamente. Isso se deve pelo fato de algumas partículas de bentonita possuírem diâmetro menor que o diâmetro dos poros das membranas, fazendo com que as partículas atravessassem os poros influenciando no resultado final.

Na Figura 9 está representado a variação da cor ao longo do tempo.

**Figura 9:** Variação da cor em função do tempo para E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>, após tratamento pela membrana cerâmica

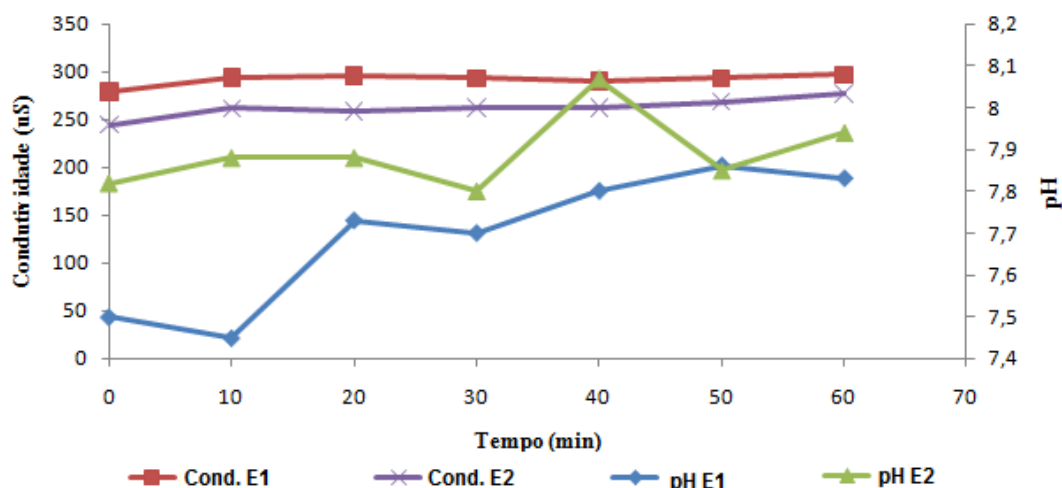


Fonte: Própria, 2018

Observa-se que logo nos primeiros minutos a cor foi removida totalmente, mostrando a eficiência do sistema e, posteriormente, permaneceu constante.

Como houve redução da cor em sua totalidade para ambos os experimentos, o sistema membrana cerâmica se mostrou eficiente na remoção da cor e na redução da turbidez da água em estudo, pois de acordo com AMTA, 2007 o limite máximo permissível para esse parâmetros são de: 2 mg Pt-Co/L e 5 µT, respectivamente.

A Figura 10 apresenta o comportamento das variáveis de medidas, pH e condutividade elétrica

**Figura 10:** Variação da condutividade e pH em função do tempo, após tratamento pela membrana cerâmica

Fonte: Própria, 2018

Observa-se que ambas não sofreram alterações significativas, devido a membrana cerâmica em estudo, não ter condições de reter os íons dissolvidos na solução, consequentemente o pH permanecerá praticamente o mesmo após o tratamento.

#### 4.2 Medidas do IDS

O Índice de Densidade de Sedimentos tem-se em seu equipamento uma membrana composta de nitrocelulose com porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$ . Para a sua análise, as amostras coletadas foram realizadas em três pontos: na água de alimentação e em dois determinados tempos após passagem pelas membranas cerâmicas, 10 e 30 minutos, em cada experimento. Os dados encontrados para os respectivos índices seguem na Tabela 5.

**Tabela 5:** Medidas do IDS

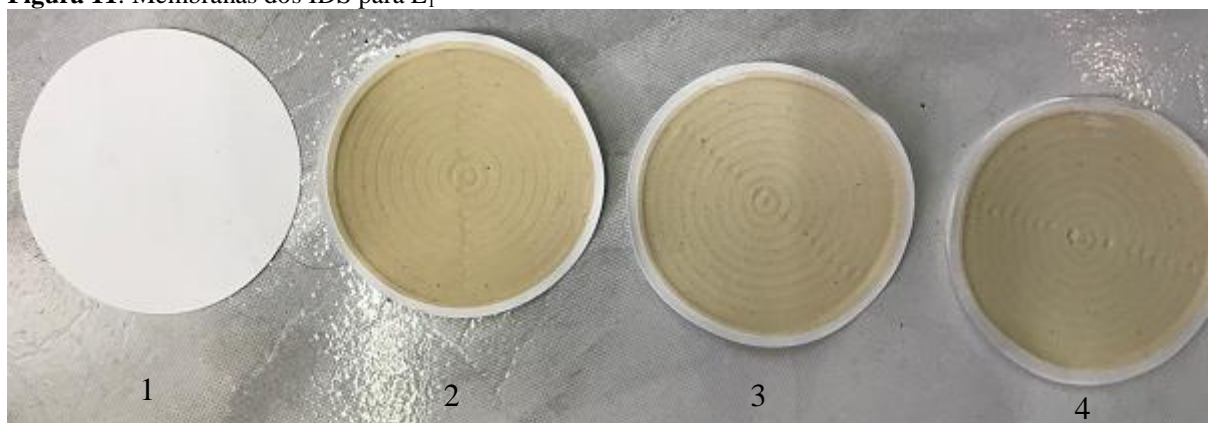
Experimentos	Índice de Densidade de Sedimentos		
	Alimentação	Pós Membrana Cerâmica	
E <sub>1</sub>	5,60	5,44	6,16
E <sub>2</sub>	5,59	5,29	6,03
<b>Limites</b>	3,0 – 5,0		

Fonte: Própria, 2018.

Observou-se que se encontravam fora da faixa de valores aceitáveis descrita pela literatura que é de 3,0 a 5,0 (AMJAD, 1992).

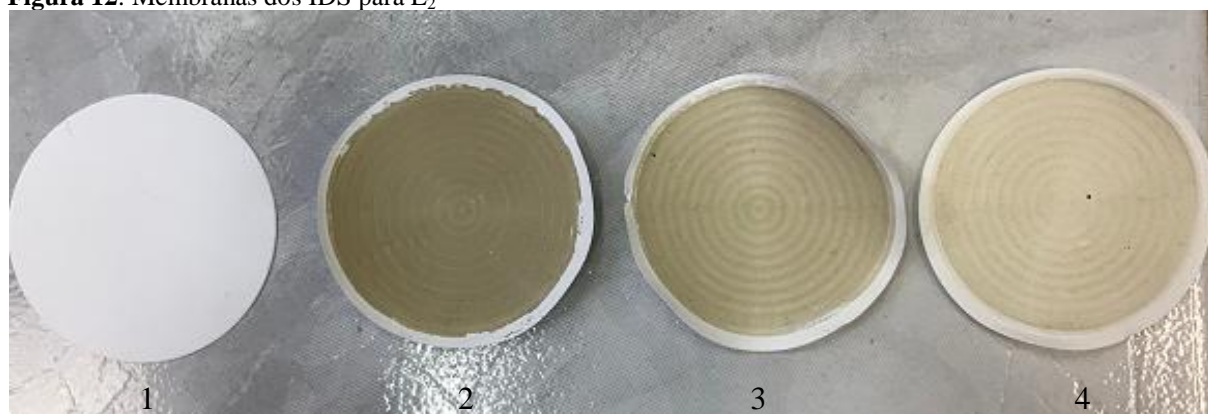
As Figuras 11 e 12 ilustram as três membranas utilizadas no procedimento de medidas do IDS.

**Figura 11:** Membranas dos IDS para  $E_1$



Fonte: Própria, 2018

**Figura 12:** Membranas dos IDS para  $E_2$



Fonte: Própria, 2018

Em primeiro, tem-se a membrana nova; em segundo, a membrana do IDS da água de alimentação e em terceiro e quarto, tem-se as membranas nos tempos 10 e 30 minutos, respectivamente.

De acordo com os dados obtidos para os valores do IDS, aparentemente, foi observado que o IDS aumentou após 30 minutos de experiência, devido os seguintes fatores:

- 1- A concentração de bentonita está elevada no meio aquoso, e, conseqüentemente em função da formação do “*cake*” (formação da borra) na superfície da membrana sob a 2,0 bar de pressão a mesma foi passando para o permeado.
- 2- O fato da membrana cerâmica apresentar uma porosidade muito próximo de 1  $\mu\text{m}$ , as partículas de bentonita, as quais apresentam um tamanho médio de 0,5  $\mu\text{m}$  inferior a porosidade da membrana cerâmica (FERREIRA,2008), foram se dispersando para o permeado aumentando assim o IDS.

Outro ponto importante, que não foi levado em consideração neste trabalho foi a possibilidade do deslize do filtro do IDS durante os experimentos, o qual leva a erros significativos. A má colocação do filtro de membrana na superfície do equipamento, onde pode fazer com que haja espaços inoportunos fazendo com que as partículas de bentonita passassem por eles interferindo no resultado final.

### 5.3 Análises físico-químicas após IDS

Os resultados das análises realizadas estão descritos nas Tabelas 6 e 7 comparando os experimentos com sua água de alimentação, após passagem pela membranas e realização do IDS em cada uma deles.

As amostras para realização do IDS foram coletadas no primeiro (1º) 500 mL e, após 15 minutos, os segundos (2º) 500 mL.

**Tabela 6:** Dados de E<sub>1</sub>

	Água de Alimentação	Após IDS da Alimentação		Após Membranas e IDS			
				10min		30min	
				1º	2º	1º	2º
Cor	6	0	0	0	0	0	0
Turbidez	10	1	2	1	1	1	1

Fonte: Própria, 2018.

**Tabela 7:** Dados de E<sub>2</sub>

	Água de Alimentação	Após IDS da Alimentação		Após Membranas e IDS			
				10min		30min	
				1º	2º	1º	2º
Cor	26	5	9	0	0	0	0
Turbidez	28,4	2,64	5,04	0,9	0,6	0,8	0,6

Fonte: Própria, 2018.

Observa-se que depois de realizado o IDS na água de alimentação, a turbidez do E<sub>1</sub> e do E<sub>2</sub> e a cor deste último, aumentaram na segunda amostra dos 500 mL coletados. Isso se deve ao fato das partículas de bentonita terem conseguido atravessar os poros das membranas cerâmicas.

Já para os IDS após sistema de membranas, a redução da cor foi satisfatória, removendo em sua totalidade e a turbidez também, atingindo valores significativos. Com isso, evidencia a eficiência da membrana cerâmica na remoção da turbidez e cor da água em estudo.

Houve uma maior remoção da turbidez no E<sub>2</sub> do que no E<sub>1</sub>, evidenciando o que a portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde relata, que para águas que sofrem um tratamento deve-se ser menor que 1 mg Pt-Co/L.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As membranas cerâmicas, como um sistema de filtração para soluções de bentonitas, se mostraram eficiente na remoção da cor e na redução da turbidez, permitindo sua utilização.

Considerando que as propriedades físico químicas do permeado, não mudou consideravelmente, a condutividade elétrica e pH do meio aquoso praticamente permaneceram constantes para os experimentos realizados.

Os valores de IDS tendem a reduzir para os primeiros 10 minutos de experimentos, todavia para os 30 minutos, houve o transporte da bentonita através da porosidade da membrana, sob o efeito da pressão de operação (de 2,0bar) na membrana cerâmica, acarretando o aumento do IDS.

A título de confirmação de dados seria interessante desenvolver esses experimentos como membranas cerâmicas de porosidade inferior a 1,0  $\mu\text{m}$ , e/ou com membranas poliméricas de ultrafiltração, considerando que suas porosidades se encontram na faixa de  $10^{-8}$   $\mu\text{m}$ .

## REFERÊNCIAS

ALVES, T. S.; ZANINI, A. E.; DE CARVALHO, L. H.; CEZÁRIO, M. V.; Resumos do 18º CBECiMat, 2008.

AMJAD, Z. **Reverse Osmosis: Membrane Technology, water Chemistry & Industrial Applications**, Van Nostrand-Reinhold, 1992.

American Membrane Technology Association (AMTA). **Pretreatment for Membrane Processes.. Improving America's Waters Through Membrane Treatment and Desalting**. 2007.

BAKER, R. W. Membrane Technology and Applications. 2 ed. **John Wiley & Sons Ltd**. p. 545, 2004.

BERGAMASSO, A. M. Di Gea.; SEKULA, C. DANIEL, M. H. B.; QUEIROZ, F. B.; CABRAL, A. R. Contaminantes químicos em águas destinadas ao consumo humano no Brasil. **Caderno Saúde Coletiva**, v. 19, n. 4, p. 479-486, 2011.

BRASIL, Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: MS, 2011. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 12 abril, 2018.

BUENO, M. Z. **Nanofiltração e osmose inversa aplicadas à remoção de agrotóxicos (carbamatos) em águas de abastecimento: avaliação em escala de bancada** (Dissertação). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2013.

CHAVES, A. C. LIRA, H. L. SILVA, F. A. LIMA, R. C. O. FRANÇA, K. B. Obtenção e caracterização de membranas cerâmicas tubulares a partir de massas incorporadas com argila, caulim e quartzo. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Laboratório de Referência em Dessalinização. **Cerâmica**, v. 59, 2013.

CRITTENDEN, J. C.; TRUSSELL, R. R.; HAND, D. W.; HOWE, K. J.; TCHOBANOGLIOUS, G. MWH's Water Treatment: Principles and Design. **John Wiley & Sons**, 3 ed, p. 1901, 2012.

CUI, Z. F.; MURALIDHARA, H. S. Membrane Technology: A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing. 1 ed. **Elsevier**, p. 299, 2010.



EBRAHIM, S.; BOU-HAMED, S.; ABDEL-JAWAD, M and BURNEY, N. Microfiltration system as a pretreatment for RO units technical and economic assessment. **Desalination**, v. 109, p. 165-175, 1997.

FERREIRA, H.C.; SILVA, A.R. Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.3.2, p. 26-35, 2008.

GAUTO, M.; ROSA, G. **Química Industrial: Tratamento de Água**, p. 22- 23, 2013.

JULBE, A.; FARRUSSENG, D.; GUIZARD, C. Porous ceramic membranes for catalytic reactors - overview and new ideas. **Journal of Membrane Science**, v. 181, n. 1, p. 3-20, 2001.

KRAEMER, C. F. **Construção e Pré-Operação de uma Planta Piloto de Osmose Inversa e Nanofiltração na Indústria**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009

KISO, Y.; NISHIMURA, Y.; KITAO, T.; NISHIMURA, K. Rejection properties of non-phenylic pesticides with nanofiltration membranes. **Journal of Membrane Science**. v. 171, p. 229-237, 2000.

LEGNER, C. Membranas cerâmicas para microfiltração e ultrafiltração de líquidos. **Revista Meio Filtrante**, n. 75, 2015.

LI, N. N.; FANE, A. G.; HO, W. S. W.; MATSUURA, T. Advanced Membrane Technology and Applications. **Jonh Wiley & Sons**, p. 989, 2008.

MARSH, N.; HOWARD, J.; FINLAYSON, F. and RYBAR, S. SWRO-the largest plant in British water. **Desalination**, v. 125, p. 25-36, 1999.

MEDEIROS, K. M.; MORAIS, D. D. S.; KOJUCH, L. R.; ARAÚJO, E. M.; LIRA, H. L. Avaliação do comportamento térmico de membranas planas de poliamida/argila obtidas pela técnica de inversão de fases. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 8, n. 1, p. 36-43, 2013.

MINDLER, A. B. and EPSTEIN, A. C. Measurements and control in reverse osmosis desalination. **Desalination**. p. 343-379, 1986.

MULDER, M. Basic principle of membrane technology. **Kluwer Academic Publishers**, 1996.

NETO, E. T.; ALBUQUERQUE, A. Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. Universidade Federal do ABC. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 809-817, 2009.

OLIVEIRA, S. S. L.; FERREIRA, R. S. B.; ARAUJO, B. A.; LIRA, H. L.; ARAUJO, E. M. Estudo Morfológico das Membranas de Carbetto de Silício de Fibra Oca Antes e Após Sinterização a Elevada Temperatura. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 11, n. 3, p. 164-170, 2016.

PERGHER, S. B. C.; CORMA, A.; FORNES, V. Materiales laminares pilareados: preparación y propiedades. **Química Nova**, v. 22, p. 693, 1999.

SANTOS, P. S. Ciência e tecnologia de argilas, 2ª ed., **Edgard Blücher Ltda**, 1989.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso. ABES, 1ª ed., 2001.

SCOTT, K. Microfiltration, Handbook of Industrial Membranes, **Elsevier Science**, p. 373-429, 1995.

SILVA, F. A. **Desenvolvimento de membranas cerâmicas tubulares a partir de matérias-primas regionais para processo de microfiltração.** (Dissertação) Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

TAYLOR, J. S.; JACOBS, E. P. Reverse osmosis and nanofiltration. In: Joel Mallevielle et al (eds), **Water Treatment Membrane Processes**, p. 9. 1-9. 70. McGraw Hill, 1996.

TAYLOR, J. S.; WIESNER, M. Membranes. In: RAYMOND D. LETTERMAN (Technical Editor). **Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies**. 5 th Edition. **American Water Works Association**. McGraw-Hill, Inc. Chapter v.11. p. 629-699, 1999.

VAN DER BRUGGEN, B.; BRAEKEN, L.; VANDECASTEELE, C. Evaluation of parameters describing flux decline in nanofiltration of aqueous solutions containing organic compounds. **Desalination**, v. 147, n. 1-3, p. 281-288, 2002.

VARGAS, G. M. R. **Investigação de alguns parâmetros operacionais e de rejuvenescimento na performance do processo de osmose reversa.** (Dissertação) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

ZHOU, Y.; ZHAO, H.; BAI, H.; ZHANG, L.; TANG, H. Papermaking effluent treatment: a new cellulose nanocrystalline/polysulfone composite membrane procedia environmental **Science**, v. 16, n. 1, p. 145-151, 2012.