



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA INDUSTRIAL

PRISCILLA DANTAS ROCHA

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO: CARVÃO ATIVADO, MEMBRANA
CERÂMICA E RESINA TROCADORA DE ÍONS PARA FINS DE
ABRANDAMENTO DE ÁGUAS**

CAMPINA GRANDE – PB
2015

PRISCILLA DANTAS ROCHA

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO: CARVÃO ATIVADO, MEMBRANA
CERÂMICA E RESINA TROCADORA DE ÍONS PARA FINS DE
ABRANDAMENTO DE ÁGUAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Química Industrial, do Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual da Paraíba, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel em Química Industrial.

Orientadora: Prof. Dra. Márcia Izabel Cirne França

CAMPINA GRANDE – PB

2015

É expressamente proibida 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 da dissertação.

R672a Rocha, Priscilla Dantas.

Avaliação de um sistema híbrido [manuscrito] : carvão ativado, membrana cerâmica e resina trocadora de íons para fins de abrandamento de águas / Priscilla Dantas Rocha. - 2015.
55 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2015.

"Orientação: Profa. Dra. Márcia Izabel Cirne França., Departamento de Química Industrial".

1. Água. 2. Purificação de água. 3. Membranas cerâmicas. I. Título.

21. ed. CDD 663.61

PRISCILLA DANTAS ROCHA

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO: CARVÃO ATIVADO, MEMBRANA
CERÂMICA E RESINA TROCADORA DE ÍONS PARA FINS DE
ABRANDAMENTO DE ÁGUAS**

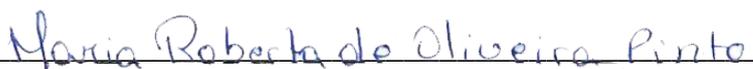
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Química Industrial, do Centro
de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual
da Paraíba, como pré-requisito para obtenção do grau
de Bacharel em Química Industrial.

Aprovada em: 01 de dezembro de 2015.



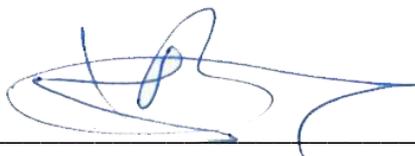
Prof. Dra. Márcia Izabel Cirne França / UEPB

Orientadora



Prof. Dra. Maria Roberta de Oliveira Pinto / UEPB

Examinadora



Prof. PhD. Kepler Borges França / UFCG

Examinador

À Deus como todas as vezes que contei, a minha verdadeira e fiel família, meus amigos que estiveram presente nesta grande caminhada de sucesso e vitória, **DEDICO.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, por iluminar sempre meus caminhos, por todas as vitórias concedidas e pela minha fé.

Agradeço especialmente aos meus pais Isauro Dantas Junior e Joseane Rocha Dantas, a meu irmão Tássio Dantas Rocha, a minha cunhada e minha sobrinha.

Aos meus avós, os presentes em vida e os que se foram, aos meus tios e tias, primos e primas, em especial Luan Dantas de Oliveira e Bruna Rocha da Silva, pelo convívio e pelos sonhos compartilhados.

Aos meus colegas por compartilharem de um mesmo sonho, por passarem pelas mesmas dificuldades, pela amizade e companheirismo.

Aos velhos e bons amigos e aqueles amigos que eu fiz para a vida toda Jaylanne Medeiros, Aline Regina, entre vários outros.

À todos os meus professores que me passaram o embargo de conhecimentos necessários para ser uma boa Química e a Universidade Estadual da Paraíba pela oportunidade disto acontecer.

Às pessoas que me proporcionaram a oportunidade de ter um projeto de pesquisa: Francisco Pereira, Everaldo Paulo e aos meus orientadores João Paulo e minha orientadora de monografia Márcia Izabel Cirne França.

Às pessoas que conviveram comigo na Embrapa Algodão e LADBES.

Ao Professor Kepler Borges França e professora Márcia Cirne, por me proporcionar um local de pesquisa para que essa monografia pudesse ser desenvolvida e por serem ótimos orientadores.

E em especial dedico este trabalho aos meus pais, por todas as dificuldades que passaram para que este sonho fosse realizado, por todos os ensinamentos, por todos os exemplos, e por me fazer a pessoa que sou hoje. Este trabalho é para vocês e por vocês.

Meu agradecimento a todos!

“Os pais educam, os professores orientam, mas a vida é quem ensina.”

Isauro Dantas Junior

ROCHA, Priscilla Dantas. **Avaliação de um sistema híbrido: carvão ativado, membrana cerâmica e resina trocadora de íons para fins de abrandamento de águas.** 2015. 60f. Monografia (Curso Bacharelado em Química Industrial) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB, 2015.

RESUMO

Esse trabalho objetivou contribuir com a pesquisa tecnológica na área de processos de tratamento de águas de forma inovadora fazendo uso de membranas cerâmicas e resinas trocadoras de íons. As membranas cerâmicas vêm sendo fabricadas no Laboratório de Referência em Dessalinização - LABDES da Universidade Federal de Campina Grande, a partir de matérias cerâmicas regionais. A porosidade das membranas vem sendo estudadas sob diferentes temperaturas de sinterização e composições físico-químicas. Atualmente, vem-se obtendo membranas cerâmicas com diâmetros na faixa de 10^{-6} m os quais se enquadram em processos de microfiltração. As resinas trocadoras iônicas se destacam como sendo um dos processos viáveis para produção de água ultrapura. As resinas têm em sua composição ânions e cátions que quando dissolvidos na água de alimentação trocam seus íons positivos e negativos por íons H^+ e OH^- , esses íons são liberados na água que se encontra em contato com a resina e reagem entre si como forma de neutralizar a água purificada, formando, uma nova molécula de água, purificando-as. Nesse trabalho as membranas cerâmicas tem um papel importante como pré-tratamento físico de águas de abastecimento público para o processo de deionização com resinas trocadoras de íons. Trata-se de um sistema híbrido com um componente que possui longo período de vida útil, o qual há necessidade de ser mais explorada, em termos de rendimento, separação das espécies presentes no meio aquoso, incluindo processos de recuperação em função da limpeza química do sistema. O processo com uso de membrana cerâmica vem sendo investigado através de análises físico-químicas, para avaliação da cor e da turbidez, bem como pela avaliação do fluxo produzido. Os estudos mostraram que o uso das membranas cerâmicas para o pré-tratamento de água destinada à deionização com resinas trocadoras iônicas mostrou-se efetivo, uma vez que se atingiu remoções de 100 e 47% dos teores de cor e turbidez, respectivamente. Com relação à etapa da resina de troca iônica, foi verificado que a redução de condutividade 98,8%. O sistema para produção de água ultrapura em estudos apresentou resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Água. Membrana Cerâmica. Resina Trocadora de Íons.

ROCHA, Priscilla Dantas. **Evaluation of a hybrid system: activated carbon, ceramic membrane and ion exchange resin for water softening purposes.** 2015. 60p. Monograph (Course Bachelor of Industrial Chemistry) - Center for Science and Technology, State University of Paraíba, Campina Grande – PB, 2015.

ABSTRACT

This study aimed to contribute to the technological research in the area of innovatively water treatment processes making use of ceramic membranes and ion exchange resins. Ceramic membranes have been manufactured in Desalination in Reference Laboratory - LABDES the Federal University of Campina Grande from regional ceramic materials. The porosity of the membranes has been studied under different sintering temperatures and physic-chemical compositions. Currently, it comes to getting ceramic membranes with diameters in the range of 10-6 m which fall into microfiltration processes. The ion exchange resins stand out as being one viable processes for producing ultrapure water. The resins have in their anions composition and cation when dissolved in the feed water exchange their positive and negative ions by H⁺ and OH⁻ ions, these ions are released into the water that is in contact with the resin, and react together to form neutralize the purified water to form a new molecule of water, purifying them. In this work the ceramic membranes have an important role as physical pre-treatment of public water supply to the process of deionization with and ion exchange resins. This is a hybrid system with a component which has a long useful life, which is no need to be explored in terms of yield, separation of species present in the aqueous medium, including function recovery processes of chemical cleaning system. The process with ceramic membrane use has been investigated through physical-chemical analysis for evaluation of color and turbidity, as well as the evaluation of produced flow. Studies have shown that the use of ceramic membranes for pre-treatment of water intended for deionization with ion exchange resins was effective, once it has reached 100 removals and 47% of color and turbidity levels, respectively. With respect to the step of ion exchange resin, the conductivity was found that reduction of 98.8%. The system for producing ultrapure water in studies showed satisfactory results.

Keywords: Water. Ceramic membrane. Ion exchange resin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática da seção transversal dos diferentes tipos de morfologia de membranas sintéticas

Figura 2 – Relação entre Força Motriz, Morfologia e Seletividade, de membranas porosas e densas

Figura 3 – Esquema de extrusora com parafuso sem-fim simples, para a preparação de uma membrana cerâmica, onde o ar presente na massa é retirado por uma bomba a vácuo que está conectada ao sistema

Figura 4 – Processo de troca iônica em uma resina mista contendo resina catiônica e resina aniônica

Figura 5 – Corte esquemático de uma partícula de carvão comum versus carvão ativado

Figura 6 – Sistema piloto completo: filtro de carvão ativado/membrana cerâmica/resina de troca iônica

Figura 7 – Fluxograma de análises feito na segunda etapa de bateladas

Figura 8 – Diferença entre membranas cerâmicas após o uso (a esquerda) e membranas cerâmicas após a limpeza química (a direita)

Figura 9 – Variação da turbidez em função do tempo, após o filtro de carvão ativado(a) e após a membrana cerâmica (b)

Figura 10 – Variação da cor em função do tempo após o filtro de carvão ativado (a); e após a membrana cerâmica (b)

Figura 11 – Variação do pH em relação ao tempo após o filtro de carvão ativado (a); e após a membrana cerâmica

Figura 12 – pH versus tempo frente a primeira coluna de resina mista (a); pH versus tempo frente a segunda coluna de resina mista

Figura 13 – Variação da Condutividade Elétrica em função do tempo após primeira coluna de resina(a); e após a segunda coluna de resina (b)

Figura 14 – Variação da vazão em função do tempo, após o filtro de carvão (a) e após a membrana cerâmica (b)

Figura 15 – Variação da vazão em função do tempo na entrada na primeira coluna de resina (a) e na saída da mesma (b)

Figura 16 – Variação da vazão em função do tempo em relação a segunda coluna de resina

Figura 17 – Variação da concentração em função dos íons nas pressões de 0,5 e 1,0 bar

Figura 18 – Concentração versus íons nas pressões de 1,5 e 2,0 bar

1 INTRODUÇÃO

Segundo Carvalho e Reco-Pimentel (2007), a água constitui um elemento imprescindível à existência do ser humano e está presente em todos os seguimentos da vida. Se destacando como um dos recursos essenciais para o desenvolvimento, tanto para o consumo humano e/ou animal, quanto para ações relacionadas à produção de alimentos, produtos industrializados, energia, entre outros.

Tendo a água uma importância primordial a mesma quando servindo para usos mais nobres como produção de água para fins hospitalares, caldeiras, laboratoriais, materiais eletrônicos, a mesma deve estar mais pura para os devidos propósitos, estando assim com os valores dos parâmetros que a compõe abaixo do habitual. Neste caso foi proposto o uso de um sistema misto de Membrana Cerâmica/Resina de Troca Iônica como uma alternativa de produzir de águas mais nobres, o sistema sendo compacto e de baixo custo de implantação e manutenção.

A escolha de se utilizar as membranas cerâmicas se deu pelo fato de que as mesmas estão sendo bastante utilizadas por apresentarem vantagens frente às poliméricas como estabilidade biológica, resistências a altas temperaturas e pressões, quando se refere à inercia (BHAVE, 1991). Apresentando vantagens também em relação aos métodos tradicionais de separação como baixo consumo de energia, vida útil longa, facilidade de limpeza, custo de manutenção, dentre outros (GEAFILTRATION, 2009).

No sistema o uso da membrana cerâmica foi proposto como pré-tratamento físico da água removendo a cor e turbidez, foi utilizado também em conjunto com a membrana cerâmica, o filtro de carvão ativado, visando a remoção de cloretos como também turbidez e cor.

Neste trabalho também se fez necessário o uso de resinas de troca iônica, onde a purificação de água por meio desta é chamada de desmineralização. A aplicação das resinas tem o propósito da remoção da maior parte dos íons da água diminuindo assim a condutividade elétrica e a dureza total da água. As resinas de troca iônica têm se difundido bastante pela sua gama de aplicabilidade, sendo as mesmas utilizadas em indústrias, na purificação de água para alimentação de

caldeiras, dessalinização de águas, extração de metais pesados, entre outros (POHL, 2006).

As principais vantagens apresentadas pelas resinas são estabilidade em água quente (exceto fortemente básicas), estabilidade a agentes químicos em solução, possuir apenas um grupo funcional, podem ser de vários tipos (aniônicas e catiônicas fracas ou fortemente ácidas e básicas), etc.

Portanto, o presente trabalho visa estudar o desempenho de um sistema de membranas cerâmicas/resina trocadora de íons para fins de abrandamento ou deionização de águas. Realizando a caracterização tanto da membrana cerâmica como filtro de carvão ativado visando averiguar a taxa de remoção de cor e turbidez da água como também ver a produção de fluxo em função da pressão de operação, utilizando a água da rede de abastecimento de Campina Grande – PB como amostra. Em relação a resina trocadora de íons o presente trabalho tem o objetivo de estudar a taxa de remoção dos íons versus a vazão em função da pressão exercida.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de um sistema de membranas cerâmicas/resina trocadora de íons para fins de abrandamento, deionização de águas e produção de água ultra pura.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Confeccionar e testar um sistema híbrido constituído por membrana cerâmica e colunas de resina trocadora iônica;
- Caracterizar a membrana cerâmica com água deionizada visando averiguar a produção de fluxo em função da pressão de operação, a remoção de cor e turbidez;
- Estudar o desempenho da membrana cerâmica para água da rede da cidade de Campina Grande em função da caracterização do item (b), visando obter melhor recuperação e qualidade de água para alimentar as resinas trocadoras de íons;
- Avaliar o rendimento das resinas com o tempo de operação e a pressão de operação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 DEDINIÇÃO DE MEMBRANAS

Para Habert et.al. (2006), membranas podem ser definidas como sendo uma barreira que separa duas fases e que restringe-se, total ou parcialmente, ao transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases em questão, já para Anadão (2010), membrana é uma barreira seletiva entre duas fases, que sofrendo uma ação de força motriz, permitindo a passagem de uma ou mais espécies selecionadas da fase de alimentação, podendo essa alimentação ser uma mistura de caráter líquido, gasoso ou solução.

Desde o século XVIII, até os dias atuais foram feitas várias pesquisas para saber a aplicabilidade das membranas e seus avanços. Os principais avanços da tecnologia de membranas estão no fato de que trabalham sem a adição de agentes químicos, com uso relativamente baixo de energia, facilidade de processamentos e arranjos físicos compactos. O avanço na tecnologia das membranas transformou-se numa parte importante da tecnologia de separação nas últimas décadas, sendo as mesmas amplamente empregadas em processos de separação nas indústrias, nas áreas químicas, metalurgia, têxtil, de papel, em aplicações farmacêuticas, biotecnológicas, no tratamento de efluentes industriais e residências, no processamento de alimentos e de bebidas, entre tantas outras (LENNTECH, 2008).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS MEMBRANAS

A membrana ideal deve apresentar algumas características, como resistência à formação de incrustações (fouling) tanto coloidais como de matérias em suspensão, alta rejeição de sais, alta taxa de fluxo de água, baixo custo, mecanicamente resistente, quimicamente estável, resistentes a altas temperaturas, permeabilidade a gases e líquidos, capacidade seletiva. A morfologia da membrana

e a natureza do material que a constitui são algumas das características que vão definir o tipo de aplicação e a eficiência na separação (HABERT et. al., 2006).

Os materiais empregados na síntese das membranas são de dois tipos, orgânicas e inorgânicas. As membranas orgânicas (líquidos de substâncias orgânicas ou poliméricas) apresentam como vantagens a facilidade de formação de um filme fino, permitindo à obtenção de altas taxas de permeado e baixo custo comparado as membranas inorgânicas, tendo como limitações uma baixa seletividade, instabilidade a altas temperaturas, dilatação e decomposição em solventes (ANADÃO, 2010).

Como as membranas poliméricas tem uma grande variedade de materiais poliméricos e facilidade de processamento elas são tradicionalmente mais utilizadas. Entretanto, seu uso se limita a temperaturas inferiores a 250°C e se degradam em pH extremamente ácido ou em solventes orgânicos (SANTOS et. al., 2005).

Já as membranas inorgânicas (metais e materiais cerâmicos) possuem uma vida útil maior por causa da sua elevada resistência química e térmica, e toleram regimes agressivos de limpeza. Suas limitações são alto custo por causa da sua produção, pouca resistência mecânica, caracterizada pela fragilidade do material e restringe-se a aplicabilidade em larga escala (ANADÃO, 2010).

No que diz respeito à estrutura as membranas podem ser assimétricas e simétricas. As membranas simétricas, ou isotrópicas, possuem uma estrutura uniforme ao longo de toda sua estrutura. Sua espessura varia de 100 a 200 µm, e podem ser densas ou porosas (HABERT et. al., 2006). O fluxo é baixo por conta da sua espessura que contribui para a resistência ao transporte de massa (ANADÃO,2010).

Já as membranas assimétricas, ou anisotrópicas, apresentam um gradiente de porosidade ao longo de sua espessura, podendo ser totalmente porosas ou formadas por uma dupla camada constituída de uma parte densa, também chamada de pele, responsável pela seletividade, com 0,1 a 0,5 µm de espessura; e outra porosa, que funciona como suporte, com espessura entre 50 e 150 µm (HABERT et. al., 2006). As mesmas permitem um fluxo alto por causa da espessura dos seus poros que são mais abertos do que nas membranas simétricas (ANADÃO,2010).

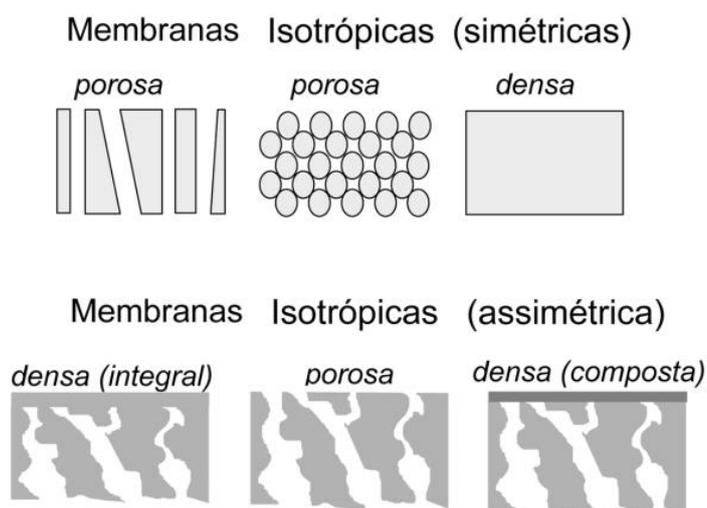
Mais de um modo geral, as membranas podem ser classificadas em duas grandes categorias: densas e porosas, sendo as características da superfície da

membrana que estão em contato com a solução a ser separada que vai definir a utilização de uma membrana porosa ou densa (HABERT et. al., 2006).

Na figura 1 mostra a representação esquemática da seção transversal dos diferentes tipos de morfologia de membranas sintéticas tanto densas (integral e composta) como porosas.

Figura 1 – Representação esquemática da seção transversal dos diferentes tipos de morfologia de membranas sintéticas

MORFOLOGIA DE MEMBRANAS SINTÉTICAS



Fonte: HABERT, BORGES & NOBREGA, 2006.

3.3 PROCESSOS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS

Segundo Habert (2006), para que ocorra o transporte de uma espécie através de uma membrana é necessária a existência de uma força motriz agindo sobre a mesma. Os processos comerciais de separação com membrana utilizam como força motriz o gradiente de potencial químico e/ou o gradiente de potencial elétrico. Como os processos com membranas são, em sua grande maioria, atérmicos, o gradiente de potencial químico pode ser expresso, apenas, em termos do gradiente de pressão e de concentração (ou pressão parcial).

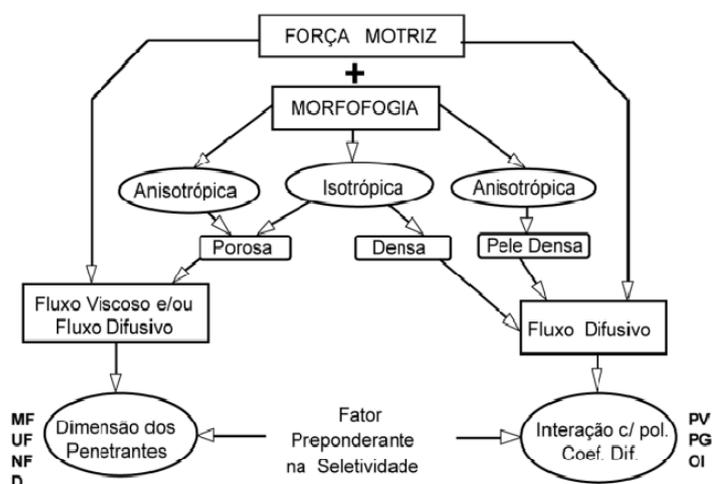
Quando se coloca a morfologia da membrana versus o tipo de força motriz empregada, o transporte das diferentes espécies através da membrana pode ocorrer

tanto pelo mecanismo de convecção, como pelo mecanismo de difusão. A morfologia da membrana também define os princípios que se baseiam a sua capacidade seletiva (HABERT et. al., 2006).

Em processos que utilizam membranas porosas a capacidade seletiva está diretamente associada ao tamanho das espécies presentes e o tamanho dos poros da membrana, como é no caso dos processos de microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e diálise (D), as espécies presentes devem ser, na medida do possível, inertes em relação ao material que constitui a membrana, e o transporte das espécies pode ser tanto convectivo como difusivo. Já nos processos com membranas densas, sendo compostas ou não, a capacidade seletiva depende da afinidade das diferentes espécies com o material da membrana e da difusão das mesmas, como é o caso da osmose inversa (OI), pervaporação (PV) e permeação de gases (PG). O fluxo permeado é sempre de natureza difusiva, independente do tipo de força motriz aplicada, uma vez que a membrana não apresenta poros próximos à superfície que se encontra em contato com a solução a ser processada (HABERT et. al., 2006).

Para melhor visualização a figura 2 abaixo mostra a relação entre força motriz, morfologia e seletividade.

Figura 2 – Relação entre Força Motriz, Morfologia e Seletividade, de membranas porosas e densas



Fonte: HABERT et. al., 2006.

3.4 MEMBRANAS CERÂMICAS

O termo “cerâmica” vem da palavra grega “*keramikos*”, que significa “matéria-prima queimada”, indicando que as propriedades desejáveis desses materiais são normalmente atingidas por meio de um tratamento térmico a alta temperatura (CALLISTER, 2008).

As membranas cerâmicas foram desenvolvidas a partir de 1940 para aplicações nucleares servindo para a separação de isótopos de urânio por processo de difusão gasosa para aplicação do hexafluoreto de urânio (UF_6), nestes casos as membranas utilizadas eram de alumina e zircônia (GILLOT, 1991; HSIEH, 1996), mais somente em 1978 as membranas cerâmicas apareceram em aplicações comerciais (HOWELL, et. al., 1993).

Segundo Benfer et. al., (2001), as membranas cerâmicas são de grande interesse em processos de separação pela sua estabilidade química e térmica mais altas comparadas com as poliméricas. Variado seu pH de 1 a 14 e em temperaturas superiores a 500°C quando se diz respeito a filtração, podendo ser limpas com substâncias químicas agressivas, solventes orgânicos ou vapor de água quente em refluxo.

Muito se fala das diferenças de membranas poliméricas e cerâmicas e qual a melhor. A membrana cerâmica apresenta as vantagens em relação às poliméricas, quanto à inercia química, estabilidade biológica e resistência a altas temperaturas e pressão. Outro ponto a se mostrar é a vantagem que as membranas cerâmicas apresentam em relação aos métodos tradicionais de separação, como destilação, centrifugação, entre outros, tais como: baixo consumo de energia, vida útil longa, facilidade de limpeza, redução de mão-de-obra e de custos de manutenção (GEAFILTRATION, 2009).

Por esse motivo tem-se um aumento de cerca de 15% ao ano, do número de aplicações das membranas cerâmicas, apesar dos conhecimentos detalhados sobre as aplicações comerciais ainda serem restritos (UHLHORN, et al, 1992).

Apesar das qualidades e das diversas aplicações das membranas cerâmicas que já se conhece, as membranas cerâmicas apresentam diversas desvantagens, por exemplo no alto custo de fabricação, devido ao transporte e ao custo das

matérias-primas que são importadas e sintéticas do tipo: zircônia, alumina, titânia e sílica (SILVA, 2009).

Vendo que uma das desvantagens da membrana cerâmica é o alto custo de fabricação por causa do transporte e ao custo das matérias-primas que são importadas e vendo que a região Nordeste do Brasil, principalmente os Estados da Paraíba e Pernambuco possuem grandes reservas das matérias-primas que são necessárias para a produção de cerâmica, essas fontes poderia cooperar para a minimização dos custos da produção das membranas cerâmicas (SILVA, 2009).

Sendo assim o LABCEM que se encontra agregado ao Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), ambos da UFCG, visando contribuir na área de concentração fazendo uso as membranas cerâmicas. As composições das membranas são de matérias-primas regionais, sintetizadas em diferentes temperaturas, com o intuito de verificar suas aplicabilidades em microfiltração. Os minerais utilizados são todos de baixo custo e de processamento viável, diminuindo assim o custo de produção (SILVA, 2009).

3.4.1 PREPARAÇÃO DA MEMBRANA CERÂMICA

Existem várias técnicas que podem ser utilizadas no preparo de membranas cerâmicas. As mais importantes são o processo sol-gel, oxidação anódica e sinterização.

3.4.1.1 PROCESSO SOL-GEL

O processo sol-gel tem permitido a obtenção de materiais cerâmicos com propriedades únicas. Uma importante característica é a elevada porosidade obtida após a secagem de 30% a 70%, como também distribuição uniforme de poros e estrutura controlada (ANADÃO, 2010).

Este método converte uma solução polimérica ou coloidal chamada sol, em uma substância gelatinosa denominada gel. Envolvendo a hidrólise e reações de condensação de alcóxidos, sais dissolvidos na água ou solventes orgânicos. Na

maioria dos processos sol-gel para fabricação de membranas microporosas, envolve a obtenção de uma matriz inorgânica através da formação de um sol estável que é primeiramente preparado com um precursor óxido organometálico. Em seguida, é realizada a adição, se necessário, de um modificador de viscosidade ou ligantes, que servem para reduzir o tempo de processamento e evitar o aparecimento de trincas nas membranas durante a etapa de secagem. O solve espesso é, então, depositado como uma camada de um suporte poroso, como resultado de forças capilares. O resfriamento desta camada é feita após a secagem, para formar um gel que é um precursor para a membrana cerâmica e que será calcinado ou sintetizado em um sólido denso e amorfo (ANADÃO, 2010).

3.4.1.2 OXIDAÇÃO ANÓDICA

Membranas de alumina anódica têm sido estudadas extensivamente (MARDILOVICH et. al., 1995).

Normalmente membranas de alumina anódica são feitas a partir da liberação do substrato de alumínio através do ataque químico, tanto pela dissolução da folha de alumínio quanto por dissolução de um filme de alumina formando uma camada contínua da superfície do alumínio durante o crescimento do filme de alumina (LIRA e PATERSON, 2002).

3.4.1.3 SINTETIZAÇÃO

O processo de preparação de membranas por este método consiste de quatro etapas: Homogeneização da massa cerâmica, conformação, secagem e queima (sinterização).

- **Homogeneização da Massa Cerâmica**

A massa cerâmica é misturada com água e aditivos líquidos até se tornar bem homogênea e adequada ao processo de conformação. Esta etapa é muito

importante, pois a água e os aditivos devem estar uniformemente distribuídos ao longo de toda massa cerâmica. Sendo necessário, em alguns casos, a quebra dos aglomerados que poderão se formar.

- **Conformação**

A conformação pode ser feita através de prensagem ou por extrusão. Esta operação é baseada na compactação da massa contida no interior de uma matriz rígida ou flexível, através da aplicação de uma pressão.

- **Prensagem**

A prensagem produzir peças uniformes de acordo com as dimensões e geometria pré-estabelecidas e contribuir na obtenção de microestruturas adequadas às características finais desejadas.

Devido à sua elevada produtividade, facilidade de automação e capacidade de produzir peças de tamanhos e formas variadas, sem contratação de secagem e com baixa tolerância dimensional, é muito utilizado pela indústria cerâmica (ALBERO, 2000).

A prensagem pode ser uniaxial ou isostática. Na prensagem uniaxial ocorre falta de uniformidade de pressão dentro do molde provocando diferenças na densidade ao longo da peça prensada. Em compensação, neste tipo de prensagem há possibilidade de se produzir peças das mais variadas formas, além de ser possível promover automação no sistema e, assim, ter uma alta taxa de produção.

Na prensagem isostática a compactação do pó se dá no interior de uma matriz flexível sobre a qual atua um fluido pressurizado. Neste caso há uma uniformidade de pressão tornando a densidade da peça prensada bem uniforme. Há também possibilidade de se produzir peças com muitos detalhes, porém a taxa de produção é limitada.

A produção de membranas de cerâmica pelo método de pressão isostática é mais viável, pois a uniformidade da densidade causa uma melhor distribuição de poros, além de manter o tamanho dos poros mais uniformes.

- **Extrusão**

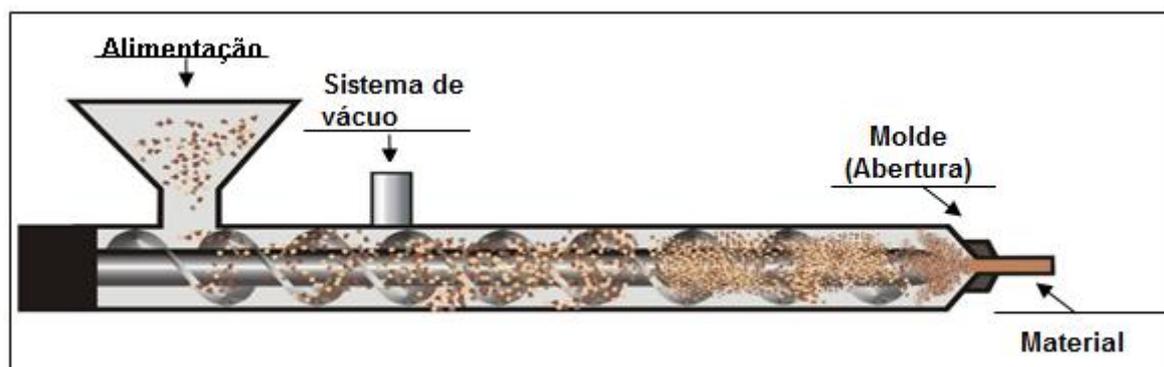
É outra técnica de conformação bastante utilizada na indústria cerâmica. Pode ser definida como sendo um processo pelo qual se dá forma a um produto cerâmico através da massa cerâmica, de forma plástica, ou semi-firme, pela abertura, que é forçada a passar através do orifício de um molde. Forma-se assim uma peça cerâmica extrudada com controlada área de seção transversal (SENAI, 2006).

Para se garantir um bom resultado na extrusão é bom garantir que o material a ser conformado apresente as mínimas variações possíveis, tanto na composição, como na granulometria e no seu teor de umidade (SENAI, 2006).

A extrusão é aplicada para produção em grande escala, mas também pode ser feita em escala laboratorial. É empregada na produção de peças como tijolos e telhas, materiais refratários, porcelanas elétricas, substratos magnéticos e elétricos, tubos cerâmicos, membranas tubulares, assim como, substratos para membranas tubulares podem ser produzidos por extrusão (SILVA, 2009).

A figura 3 mostra uma extrusora de parafuso sem-fim simples. A massa cerâmica, previamente preparada e com teor de umidade controlada, é colocada no sistema de alimentação onde é forçada pelo parafuso sem-fim. O ar presente na massa é retirado por uma bomba de vácuo conectada ao sistema. As características reológicas da massa também devem ser levadas em consideração.

Figura 3 – Esquema de extrusora com parafuso sem-fim simples, para a preparação de uma membrana cerâmica, onde o ar presente na massa é retirado por uma bomba a vácuo que está conectada ao sistema



Fonte: FRANÇA, 2006.

O processo de extrusão é contínuo, porém, geralmente todo material extrudado, posteriormente é cortado no comprimento desejado, após a secagem. Com este processo se consegue produzir peças tanto de formato simples, como de formatos complexos e o ferramental têm um custo relativamente baixo. Porém, os equipamentos têm custo elevado e, se os parâmetros de regulação do processo não forem bem controlados, as peças produzidas poderão apresentar uma série de defeitos, como fissuras longitudinais, trincas superficiais, encurvamento, etc. Com este processo se consegue produzir membranas tubulares com os mais variados perfis.

- **Secagem**

Secagem é o processo pelo qual se retiram a água, por evaporação, através do ambiente aquecido ou da própria temperatura ambiente. A massa cerâmica a secar consiste numa mistura de matérias inorgânicos, com um conteúdo de água que vai até aproximadamente 30%, distribuídas mais ou menos uniforme em toda a massa (SENAI, 2006).

Um controle na taxa de secagem é muito importante, pois com a saída dos líquidos em forma de vapor, há uma propensão ao surgimento de vários defeitos, tais como: trincas, deformação, baixa resistência e, até mesmo, quebras, essas deformações acontecem se a secagem inicial for muito rápida (SENAI, 2006).

- **Queima (Sinterização)**

Sinterização pode ser definida como um processo termicamente ativado através do qual um conjunto de partículas apenas em contato mútuo liga-se umas às outras formando um “pescoço”, em decorrência da transferência de átomos de uma partícula à outra por difusão. Na sinterização ocorrem alterações de porosidade, diminuição e/ou remoção de poros entre as partículas e retração dimensional. Observa-se um aumento do nível de densificação e das propriedades mecânicas dos materiais cerâmicos em função do aumento da temperatura final de sinterização (SANTOS et. al., 2005).

3.4.2 CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANA CERÂMICA

Caracterizar uma membrana é determinar um conjunto de propriedades adequadas de modo a prever seu comportamento durante o processamento e uso.

Dependendo da aplicação, estas membranas podem apresentar diferenças significativas em termos funcionais e estruturais, onde o conhecimento da morfologia das membranas e sua relação com as propriedades de transporte são importantes para uma melhor compreensão dos fenômenos envolvidos nos problemas de separação e fornece informações que permitem selecionar a melhor estrutura para uma dada separação. Portanto, qualquer que seja a técnica empregada no preparo de uma membrana é necessária a sua caracterização, pois só assim é possível se determinar qual tipo de aplicação à membrana estará apta a ser utilizada (HABERT, et. al., 2006).

3.4.3 CARACTERÍSTICAS DAS MEMBRANAS CERÂMICAS

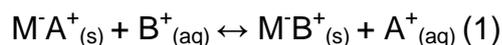
O consumo de membranas cerâmicas vem crescendo consideravelmente ao longo dos anos, este crescimento se dá em virtude das vantagens das membranas cerâmicas frente às poliméricas, tanto em relação aos processos clássicos de separação, como destilação, centrifugação, entre outros, como pela estabilidade térmica, inércia química, estabilidade biológica, resistência mecânica, facilidade de limpeza, vida útil longa, economia de energia, seletividade, separação de substâncias termolábeis, simplicidade de operação, ocupação de pouco espaço físico (SILVA, 2009).

3.5 PRINCÍPIO DE TROCA IÔNICA

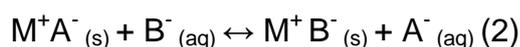
Um trocador iônico é constituído por um material poroso inerte, podendo ser natural ou sintético, praticamente insolúvel em água e em solventes orgânicos, que

apresenta cargas elétricas em sua estrutura, compostas por íons de cargas opostas (ALMEIDA, 1999).

Se um trocador $M^-A^+_{(s)}$, onde M^- é o íon fixo da matriz insolúvel, e A^+ e B^+ são os íons trocáveis ou contra-íons, e são colocados em uma solução aquosa, contendo íons B^+ , ocorrem uma reação de troca que pode ser representado pela equação seguinte, que é um exemplo de troca catiônica:



De modo análogo ocorre as reações de troca aniônica quando A^+ e B^+ são os íons trocáveis e M^+ é o fixo da matriz, a reação está representada pela equação a baixa:



O fato principal no fenômeno de troca iônica é a manutenção da eletro neutralização, fazendo com que os contra-íons sejam trocados de modo equivalente, é um processo reversível sendo seletivo na remoção de espécies iônicas dissolvidas, ou seja, os íons negativos ou positivos, fixados nestes radiais, são substituídos por íons com o mesmo sinal em soluções no líquido em contato com os mesmos.

Já as resinas de troca iônica são pequenas esferas poliméricas carregadas com hidrogênio (resinas catiônicas) ou hidroxilas (resinas aniônicas). O processo de remoção por troca iônica é simples: as resinas catiônicas trocam seus hidrogênios (H^+) por cátions, como sódio, cálcio, magnésio e as resinas aniônicas trocam suas hidroxilas (OH^-) por ânions, como fluoretos, cloretos, sulfatos, bicarbonatos (OLIVEIRA e ALMEIDA, 2005).

3.6 RESINA DE TROCA IÔNICA

A purificação de água através de resina trocadora de íons é chamada de desmineralização. Esse processo remove praticamente todos os íons presentes na água, através das resinas catiônicas e aniônicas (FILHO, 1983).

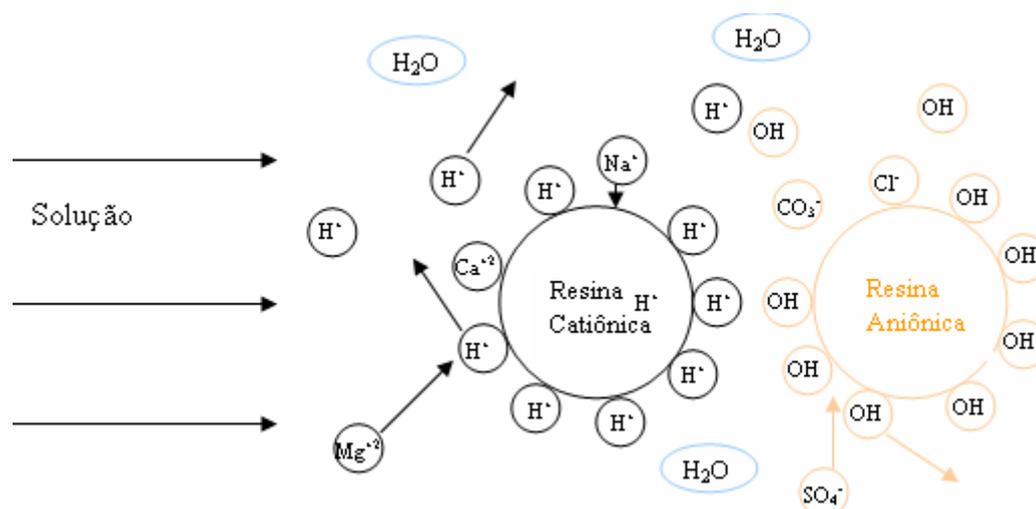
Na troca iônica a fase líquida é uma solução aquosa eletrolítica e o sólido é um eletrólito insolúvel no líquido, denominado de resina trocadora de íons. A operação se dá por uma reação de dupla troca (metátese) entre o eletrólito em solução e a resina trocadora de íons (GOMIDE, 1988).

A aplicação de resinas tem se difundido bastante devido a sua gama de aplicabilidade, sendo bastante utilizada em indústrias, na purificação de águas para alimentação de caldeiras, obtenção de água para química fina, dessalinização de águas, entre outros (POHL, 2006; DOW, 2006).

Com tantas aplicações das resinas, o desenvolvimento tecnológico da qualidade das resinas catiônicas e aniônicas com relação a seletividade e sua capacidade de troca tem sido estudados e cada vez mais difundidos (APPLEBAUM, 1969).

As resinas possuem a capacidade de trocar cátions e ânions dissolvidos na água de alimentação por íons H^+ e ânions OH^- encontrados nas resinas como mostra a figura 4. Quando esta troca ocorre, os íons H^+ e OH^- sendo liberados na água que se encontra em contato com a resina e reagem entre si como forma de neutralizar a água purificada, formando assim uma nova molécula de água a cada instante (SILVA, 2010).

Figura 4 – Processo de troca iônica em uma resina mista contendo resina catiônica e resina aniônica



Fonte: SILVA, 2010.

3.6.1 CLASSIFICAÇÃO DAS RESINAS DE TROCA IÔNICA

As resinas estão quimicamente estruturadas para manter uma elevada concentração de íons carregados tanto negativa quanto positivamente para assim atrair os íons contaminantes. As resinas de troca iônica podem ser classificadas como aniônicas e catiônicas dependendo do seu caráter básico ou ácido respectivamente, dos grupos iônicos existentes em sua estrutura sólida. Uma resina de troca aniônica apresenta grupos iônicos positivos, podendo reter e efetuar a troca de ânions com a solução em contato. Já as resinas de troca catiônica apresentam grupos de íons negativos na estrutura, retendo ou efetuando a troca de cátions com a solução. Assim as resinas são classificadas em trocadores de íons forte e fraco, dependendo do grau de dissociação, completo ou incompleto, e do grupo funcional que a resina possui (ALMEIDA, 1999; FERREIRA, 2006).

De acordo com Mucciato (2007), as resinas trocadoras de íons utilizadas no tratamento de água são polímeros ou copolímeros orgânicos tais como fenóis, aldeídos, estirenos e derivados de vinil. A maioria são sólidos granulares. Na fabricação das resinas são adicionados via reação química de grupos ácidos ou básicos, obtendo assim resinas que trocam cátions e outras que trocam ânions, com propriedades físicas e químicas adequadas (resistência à abrasão, capacidade de troca, etc.).

Mucciato (2007), citou também que resina trocadora de íons derivada do poliestireno possui hidrogênios que poderão ser substituídos por grupos derivados do ácido sulfônico nas posições meta. Este grupo sulfônico se comporta como uma resina trocadora de hidrogênio. Trocando-se o H^+ pelo Na^+ , temos uma resina catiônica sódica. Esta resina possui alta capacidade de troca, até $95^{\circ}C$ em meio alcalino e até $120^{\circ}C$ em meio ácido, resistindo às mais diversas condições de pH e sendo perfeitamente adequada para abrandamento e desmineralização, pois pode ser comercializada na forma sódica e na forma hidrogeniônica.

3.6.2 SELETIVIDADE DOS TROCADORES DE ÍONS

Segundo Aquino (2009), as resinas de troca iônica, na presença de uma solução alcançam estado de equilíbrio entre os íons da solução e os íons

presentes no grupo funcional da resina, que podem ser definidos os coeficientes de seletividade baseados na razão dos íons da solução em função dos íons nas resinas. Estes coeficientes de seletividade são uma medida de preferência por um determinado íon, em uma solução, a um determinado pH desta solução. Quanto maior o coeficiente de seletividade, maior a preferência da resina por este determinado íon. Assim resinas seletivas possuem grupos funcionais específicos e, por isso, alta seletividade por determinados íons, promovendo a separação dos mesmos de uma determinada solução e permitindo a passagem dos demais íons.

3.6.3 PROPRIEDADES DOS TROCADORES DE ÍONS

As propriedades desejáveis de um trocador de íons são: grande capacidade de troca iônica, estabilidade química e estrutural, boa resistência mecânica, baixa resistência ao escoamento do líquido, baixo custo (GOMIDE, 1988).

Segundo Vogel (2002), para uma resina ser utilizada em processos de separação/purificação tem que ter as seguintes exigências: ser suficientemente reticulada para que a sua solubilidade seja desprezível; ser suficientemente hidrofílica para permitir a difusão dos íons por meio da estrutura; conter um número suficiente de grupos trocadores de íons acessíveis e deve ser quimicamente estável; quando inchadas (hidratadas), devem ser mais densas que a água.

3.6.4 APLICAÇÕES DOS TROCADORES DE ÍONS

As resinas de troca iônica são empregadas no abrandamento, na desmineralização ou dessalinização de águas, na purificação de produtos farmacêuticos, na realização de processos metalúrgicos, como a concentração de soluções de urânio e o fracionamento de misturas iônicas por cromatografia, no tratamento de efluentes, em aplicações agrícolas, na indústria de alimentos e bebidas (GOMIDE, 1988; STELLA, 2010).

3.7 CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é produzido a partir de qualquer matéria-prima carbonácea, como cascas de arroz, de nozes, carvões minerais, turfas, resíduos de petróleo, algas, serragem, ossos de animais, caroços de frutas, entre outros, contudo, a escolha do material a ser ativado depende da sua pureza, preço e potencial de ativação (CLAUDINO, 2003; SCHNEIDER, 2008). A principal característica é a grande área superficial interna formada por milhares de poros (CARBOMAFRA, 2007 apud SANTOS, 2009).

É um adsorvente comumente utilizado na indústria devido ao baixo custo e sua capacidade de adsorver uma ampla variedade de adsorvatos. Sendo a adsorção um fenômeno físico-químico, onde compostos em fase líquida ou gasosa é transferido para a superfície de uma fase sólida, sua capacidade de adsorção é dependente de vários fatores, tais como: o processo de ativação a que foi submetido, granulometria, área superficial, teor de cinzas, densidade, pH entre outros (MUSSATO e ROBERTO, 2004; OLIVEIRA e ALMEIDA, 2005).

Com sua capacidade de adsorção o carvão ativado acaba eliminando odores, mau gosto e substâncias orgânicas dissolvidas. É usado também nos processos em que se deseja remover determinadas substâncias de um fluido, através do fenômeno de adsorção. Eles atendem ampla e variada gama de aplicações, tais como: alimentício, bebidas, farmacêutico, químico, tratamento de ar, tratamento de água, adsorção de gases, catálise, tratamento de efluentes entre outros (MUCCIACITO, 2006).

3.7.1 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

Os carvões ativados são obtidos através de duas etapas básicas: a carbonização pela pirólise da matéria-prima e a sua ativação.

A carbonização consiste no tratamento térmico (pirólise) da matéria prima em atmosfera inerte à temperatura superior a 473 K. É uma etapa onde se removem componentes voláteis e gases leves (CO , H_2 , CO_2 e CH_4), produzindo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação posterior.

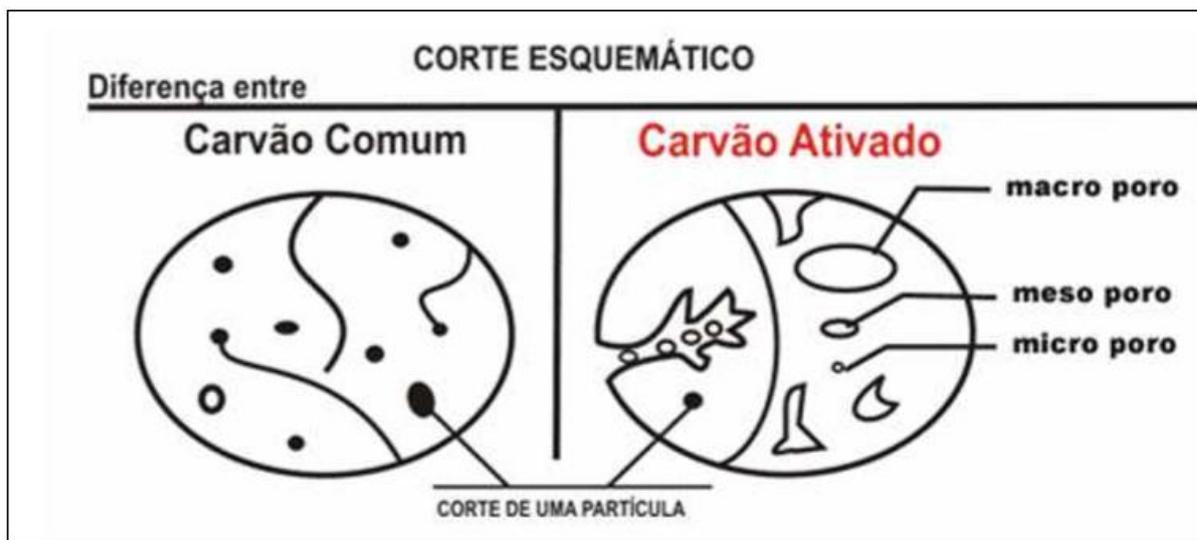
Os parâmetros importantes que irão determinar a qualidade e o rendimento do produto carbonizado são a taxa de aquecimento, a temperatura final, o fluxo de gás de arraste e natureza da matéria-prima (SCHNEIDER, 2008).

Ainda segundo o autor, a ativação consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, visando o aumento da área superficial. É a etapa fundamental na qual será promovido o aumento da porosidade do carvão. Mantendo o controle das características básicas do material (distribuição de poros, área superficial específica, atividade química da superfície, resistência mecânica) de acordo com a configuração requerida para uma dada aplicação específica. Há dois tipos de processo de ativação utilizados: ativação química, a qual emprega $ZnCl_2$, hidróxidos de metais alcalinos, H_3PO_4 e H_2SO_4 ; e a ativação física, usando vapor d'água ou dióxido de carbono.

3.7.2 PROPRIEDADES DO CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é um produto quimicamente inerte e normalmente 100 vezes mais poroso do que o carvão comum como mostrado na figura 5, sendo que essa porosidade está diretamente ligada à remoção de substâncias contidas nos poros obstruídos do carvão comum, durante a ativação. As propriedades do carvão ativado estão relacionadas com as estruturas porosas e os grupos químicos presentes na superfície. As propriedades físicas da superfície são descritas pela área superficial específica e porosidade, enquanto que as propriedades químicas dependem ou não da presença de grupos ácidos ou básicos sobre a sua superfície (SALATA, 2012).

Figura 5 – Corte esquemático de uma partícula de carvão comum versus carvão ativado



Fonte: SALATA, 2012.

3.7.3 APLICAÇÕES DE CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é utilizado em processos que se deseja purificar, descolorir, desintoxicar, filtrar, remover, eliminar, separar compostos orgânicos e indesejáveis de uma solução ou também em fase gasosa, através do fenômeno da adsorção. Estas aplicações atendem diversas áreas, como: alimentícia, de bebidas, farmacêutica, química, agrícola, petrolífera, nuclear, mineração, tratamento de ar, tratamento de água (potável, industrial e urbana), indústrias de purificação de gases, etc. (DIAS, 1998; MUCCIACITO, 2006).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Referência em Dessalinização – LABDES, da Unidade Acadêmica de Engenharia Química, localizado na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em parceria com o Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

As membranas cerâmicas que foram utilizadas ao longo desse trabalho foram produzidas no LABDES, com matérias-primas regionais, sintetizadas em diferentes temperaturas, com o intuito de verificar suas aplicabilidades em microfiltração.

4.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os experimentos foram realizados em bateladas sob circulação contínua (tipo looping), com uma hora de duração e temperatura ambiente, variando as pressões de ($0,5 \text{ kgf/cm}^2 \leq P_{en} \leq 2,0 \text{ kgf/cm}^2$), no total foram quatro bateladas.

As bateladas foram feitas utilizando a água de abastecimento de Campina Grande misturada com a água de chuva com proporções desconhecidas. A água é armazenada em um tanque de 200 litros, é inserida no sistema por uma bomba de $\frac{1}{2}$ HP, tem-se a primeira válvula para coletar a amostra da alimentação, passando pelo primeiro *by pass*, que retorna uma parte da água para o tanque homogeneizando conseqüentemente a água de alimentação, outra válvula para o ajuste de pressão de entrada no sistema, logo após temos o filtro de carvão em seguinte tem a membrana cerâmica, ambas com válvulas após cada uma para a coleta de amostras para análise.

Após a válvula da membrana cerâmica tem-se outro *by pass*, que descarta uma parte da água do sistema, e uma válvula conseqüente que ajusta a quantidade de água que entrará nas colunas de resina, tendo em vista a entrada de pouca água,

onde quanto mais tempo a água passar em contato com as resinas maior será a troca iônica e conseqüentemente melhores serão os resultados.

A água entra então na primeira coluna de resina depois passa na segunda coluna de resina, ambas tendo válvulas de saída de cada uma para a coleta de amostras.

As amostras de águas foram coletadas em cinco pontos como descritos anteriormente, sendo uma antes de entrar no sistema (Alimentação), após o filtro de carvão, após a membrana cerâmica, antes e após a primeira coluna de resina mista e por fim após a segunda coluna de resina mista. O controle da vazão e pressão do sistema se consegue com o auxílio de válvulas e by-pass e para mostrar a pressão exata tem-se os manômetros contidos no sistema. A vazão é medida com a ajuda de cronômetros e provetas de 200 mL e 1L.

A figura 6 representa o sistema piloto completo utilizado nos experimentos de tratamento de água, sendo visualizado a direita o reservatório de 200 litros, após tem a etapa de pré-tratamento contendo o filtro de carvão ativado e a membrana cerâmica de 20%, e a esquerda correspondendo as duas colunas de resina de troca iônica.

Figura 6 – Sistema piloto completo: filtro de carvão ativado/membrana cerâmica/resina de troca iônica



Fonte: ROCHA, 2015.

4.3 ANÁLISES QUÍMICAS

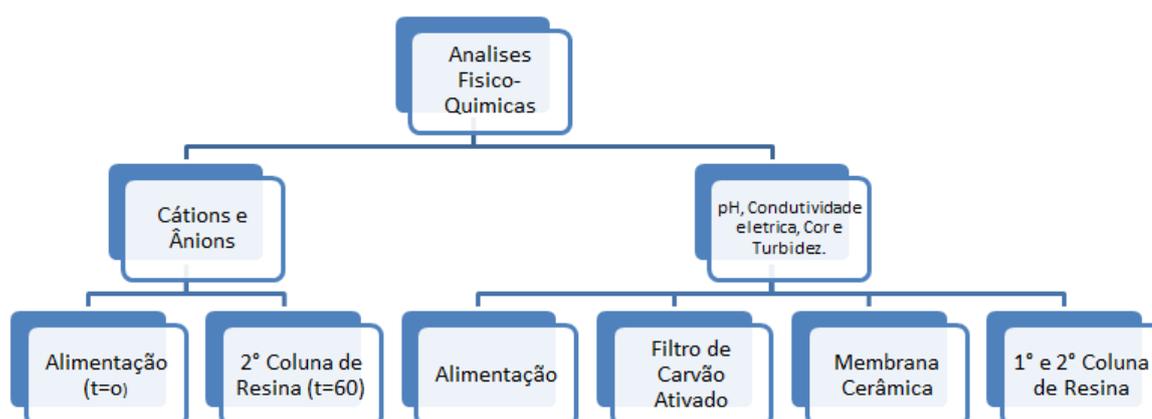
Os parâmetros físico-químicos analisados foram: condutividade elétrica (k), potencial hidrogeniônico (pH), turbidez (uT), cor (mg Pt-Co/L) e vazões referentes a todas as amostras coletadas.

Para o tempo zero da alimentação e para o tempo de 60 minutos da segunda coluna de resina trocadora de íons foram feitas análises completas, correspondendo essas análises a dureza total (Cálcio e magnésio), alcalinidade total (carbonatos e bicarbonatos), sódio e potássio, sulfato, fosforo, cloretos, nitrato, nitrito, amônia, sílica, ILS (Índice de Saturação de Langelier) e STD (sólidos Totais Dissolvidos), todos esses resultados estão no Anexo em formas de Laudos.

A metodologia analítica adotada nessas análises são descritas no Standard Methods (APHA, 1998). E os resultados obtidos foram analisados, considerados os valores máximos permitidos (VMP) segundo a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da saúde.

A figura 7 mostra um esquema dos pontos em que houve análises completas e os pontos em que foram analisados apenas condutividade, pH, turbidez e cor.

Figura 7 – Fluxograma de análises feito em todas as bateladas.



Fonte: ROCHA, 2015.

4.4 LIMPEZA QUÍMICA

4.4.1 MEMBRANA CERÂMICA

A limpeza química das membranas cerâmicas foi realizada deixando as mesmas mergulhadas em solução de Ácido clorídrico (HCl) com $\text{pH} = 3$, por mais ou menos um dia, após esse tempo colocou-se em uma solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) com $\text{pH} = 10$ por mais 24 horas.

Após esses dias foram lavadas com água deionizada, para a retirada dos reagentes antes utilizados, e para a retirada das sujidades contidas na parede exterior da membrana cerâmica utilizando-se uma esponja limpa, em seguida será colocado ar comprimido dentro da membrana, para liberar os poros ainda obstruídos.

A figura 8 mostra a diferença entre as membranas antes e após a limpeza química.

Figura 8 – Diferença entre membranas cerâmicas após o uso (a esquerda) e membranas cerâmicas após a limpeza química (a direita)



Fonte: ROCHA, 2015.

4.4.2 REGENERAÇÃO DA RESINA DE TROCA IÔNICA

A regeneração da resina foi realizada em três etapas: separação da resina aniônica da catiônica, adição de ácido e base, lavagem da resina.

4.4.2.1 SEPARAÇÃO DA RESINA ANIÔNICA DA RESINA CATIÔNICA

A resina utilizada foi resina mista (aniônica e catiônica), quando a resina se satura, o passo para reutiliza-las é a regeneração. Para que isso aconteça o primeiro passo é a separação da resina aniônica da resina catiônica.

A separação acontece preparando uma solução salina de Cloreto de Sódio não iodado, adicionando a resina mista, ocorrendo à separação das mesmas pela diferença de densidade, onde a catiônica é menos densa ficando em cima e a aniônica a mais densa ficando em baixo. Após a separação retira as resinas devidamente separadas e acondicionam em recipientes diferentes.

Na adição da solução salina nas resinas, as mesmas absorveram a maior parte do sal da solução, ficando com a condutividade elétrica alta, precisando assim ser lavada com água deionizada para a retirada desse sal, conseguindo assim fazer a adição do ácido e da base.

4.4.2.2 ADIÇÃO DE ÁCIDO E BASE

Quando as condutividades das resinas estiverem com a mesma condutividade da água deionizada, as resinas estarão prontas para regeneração em si, que corresponde à etapa de adição do ácido e base.

Adiciona-se ácido clorídrico (HCl) a 1 molar nas resinas catiônicas desejando ficar com o pH constante igual a 3,00. Já nas resinas aniônicas adiciona-se a base que é o hidróxido de sódio PA até que a resina fique com o pH constante igual a 12,00. Homogeneizando e deixando a resina por mais ou menos um dia para haver as trocas iônicas necessárias para a reativação das mesmas.

4.4.2.3 LAVAGEM DAS RESINAS

Essa fase da regeneração constitui a lavagem da resina com água deionizada para tirar o excesso da solução adicionada na etapa anterior, onde o pH ideal é o mais próximo de 7,00. Após se completar a regeneração, misturou-se a resina aniônica com a catiônica na proporção desejada e aplicar no tratamento de água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

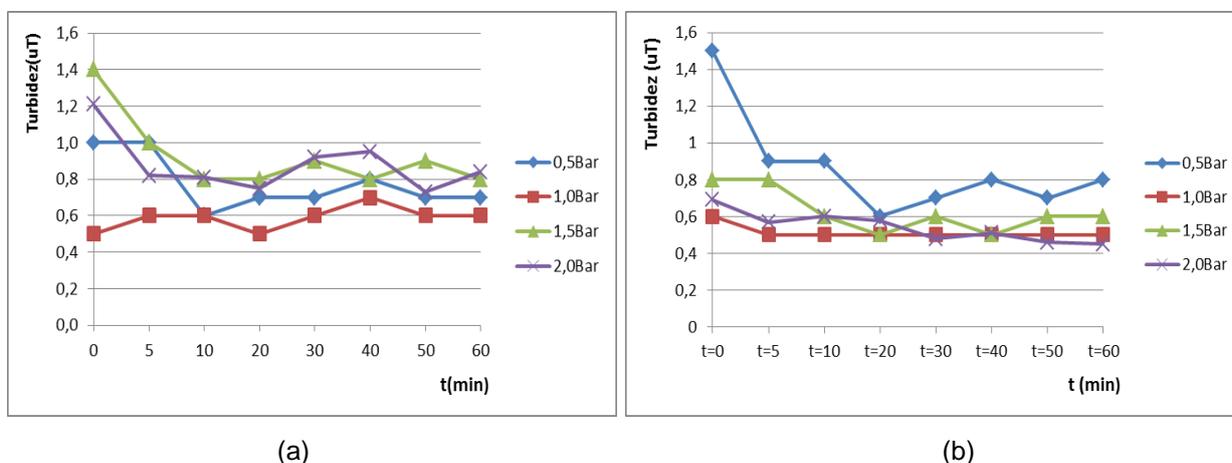
Nesta parte são avaliados e discutidos os resultados obtidos nos experimentos desse trabalho, constituído de um sistema piloto completo, utilizando filtro de carvão ativado juntamente com membranas cerâmicas, caracterizando a etapa de pré-tratamento físico da água, finalizando o abrandamento da água com duas colunas de resina de troca iônica. Com variações de pressões entre ($0,5 \text{ kgf/cm}^2 \leq P_{\text{en}} \leq 2,0 \text{ kgf/cm}^2$).

5.1 TURBIDEZ (uT) E COR

Nas quatro bateladas realizadas observou-se o comportamento dos valores de turbidez e cor ao longo de uma hora de batelada, esses valores são particularmente referentes às amostras após o filtro de carvão ativado e após a membrana cerâmica, caracterizando a fase de pré-tratamento físico da água.

Com os resultados das Figuras 9 (a) e (b) é possível observar o comportamento dos valores da turbidez versus o tempo de operação, para amostras após o filtro de carvão ativado e após a membrana cerâmica, respectivamente, ambas para as pressões de (0.5, 1.0, 1.5, 2.0) bar.

Figura 9 – Variação da turbidez em função do tempo, após o filtro de carvão ativado(a) e após a membrana cerâmica (b)

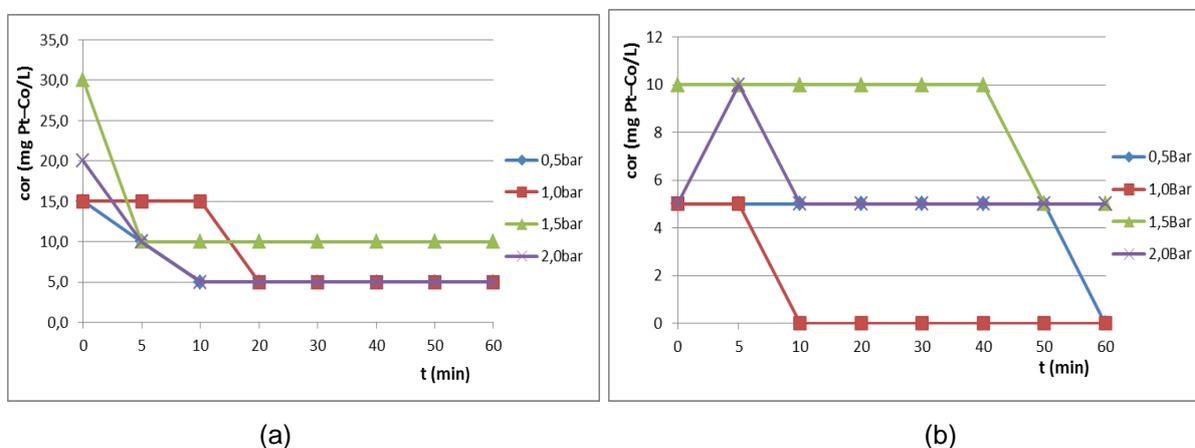


A taxa de remoção da turbidez da membrana cerâmica foi mais eficaz frente ao filtro de carvão, nas pressões de (0,5, 1,0 e 2,0) bar tendo um maior percentual de remoção de até 46,67% com a pressão de 0,5 bar, o filtro de carvão ativado obteve um melhor resultado de 42,86% na pressão de 1,5bar.

Lembrando que a turbidez de uma água é caracterizada pela presença de partículas suspensas, provocando a dispersão e a absorção da luz, dando a água uma aparência nebulosa, e esteticamente indesejável (RICHTTER, 2002). Portanto a retirada da turbidez de uma água significa uma melhor aparência da água, tornando-se esteticamente apresentável e o principal que é a retirada de partículas suspensas.

Se tratando da cor pode-se ver nas Figuras 10 (a) e (b) o comportamento da cor versus o tempo, tanto para após o filtro de carvão quanto para após as membranas cerâmicas respectivamente, nas pressões anteriormente citadas, com bateladas de 60 min de duração.

Figura 10 – Variação da cor em função do tempo após o filtro de carvão ativado (a); e após a membrana cerâmica (b)



No que diz respeito aos pré-tratamentos físicos utilizados no sistema, as taxas de remoção da cor da água foram eficazes removendo 75% da cor pelo filtro de carvão na batelada com pressão de 2,0bar e remoção de 100% nas bateladas de 0,5 e 1,0bar frente a membrana cerâmica.

A cor é responsável pela coloração da água, estando associado ao grau de redução da intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (COMPANHIA AMBIENTAL

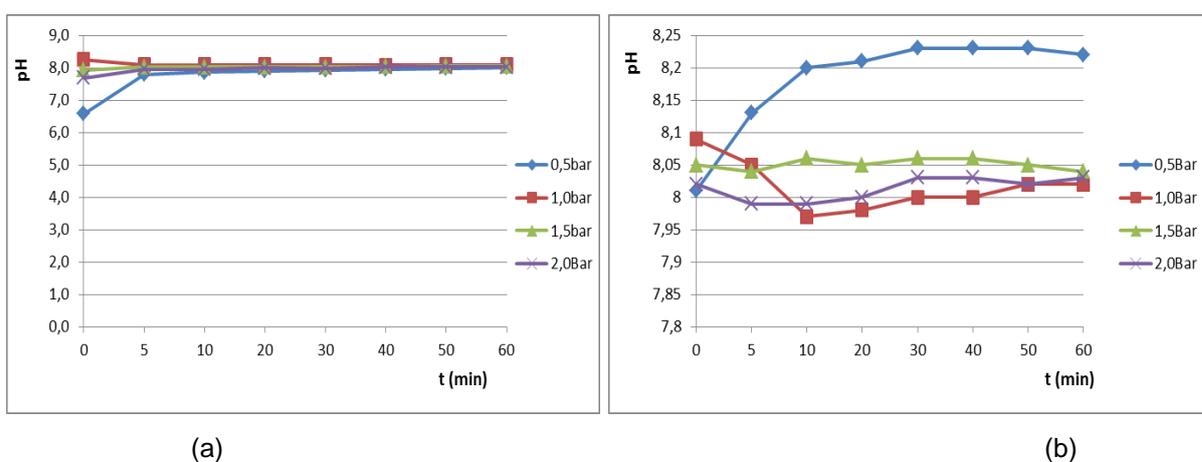
DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010). Segundo Richtter (2002), a cor não apresenta riscos à saúde, já que a mesma é originária da decomposição de vegetais. Onde a ausência da mesma torna a água mais apresentável como é no caso da turbidez.

Deve-se salientar que em ambos os casos de cor e turbidez analisados nas bateladas deste trabalho sendo pelo filtro de carvão ativado ou pela membrana cerâmica os resultados finais adquiridos estavam todos dentro dos valores máximos permitidos (VMP) segundo a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da saúde. Onde o valor máximo permitido da turbidez é de 5,0 uT, e a cor sendo de no máximo 15,0 (mg Pt–Co/L).

5.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

O comportamento do potencial hidrogenionico variou durante as quatro bateladas, onde tanto o filtro de carvão quanto a membrana cerâmica se comportou dentro dos valores máximos permitidos (VMP) segundo a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da saúde, já em relação as duas colunas de resina de troca iônica, às mesmas apresentaram valores abaixo dos valores máximos permitidos que vão de 6,0 a 9,5.

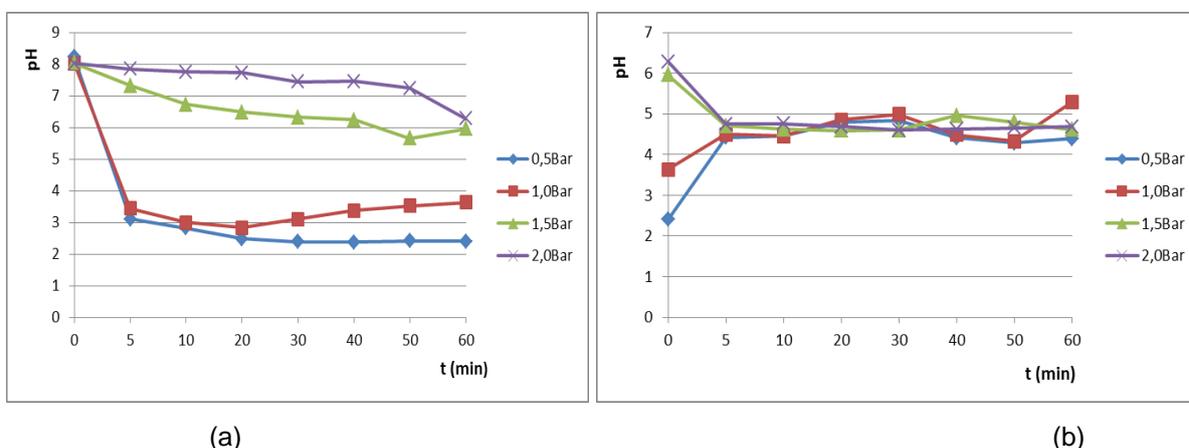
Figura 11 – Variação do pH em relação ao tempo após o filtro de carvão ativado (a); e após a membrana cerâmica



Analisando as figuras 11 (a) e (b) acima podemos perceber que não há uma variação grande do pH, onde os mesmos permanecem sempre dentro das faixas requeridas pela portaria do ministério da saúde.

Já quando partimos para os valores de pH das duas colunas de resina mista, podemos perceber nas figuras 12 (a) e (b) abaixo que os valores de pH estão abaixo dos valores máximos permitidos pela portaria em questão. Isto acontece devido à troca iônica dos íons presentes na água com a resina mista, onde a retirada de íons acarreta a diminuição de pH.

Figura 12 – pH versus tempo frente a primeira coluna de resina mista (a); pH versus tempo frente a segunda coluna de resina mista



5.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

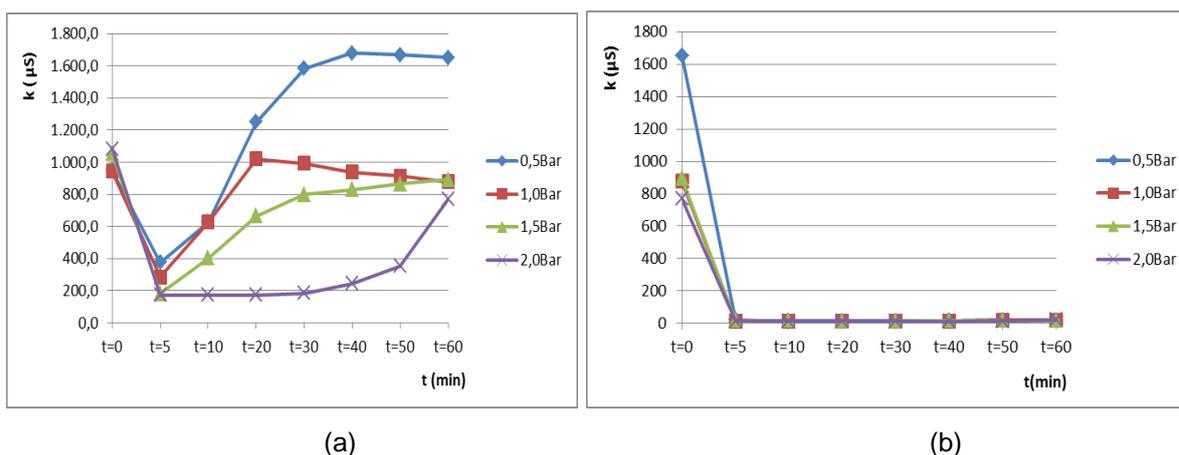
Ao analisar a condutividade elétrica da água procurou-se focar mais nas colunas de resina de troca iônica já que são elas que trocam os íons da água diminuindo assim a condutividade elétrica da mesma.

A taxa de remoção da condutividade elétrica frente à membrana cerâmica e ao filtro de carvão, sendo 1,43 e 1,2% respectivamente as taxas de remoção, portanto se tornam insignificantes quando comparados às colunas de resinas.

Já ao analisar as taxas de remoção da condutividade elétrica diante das duas colunas de resina de troca iônica podemos perceber um poder maior de remoção, contendo valores que vão de 28,9% da primeira coluna até 98,8% na segunda coluna.

Podemos ver nas figuras 13 (a) e (b) abaixo o comportamento da condutividade elétrica versus o tempo comparando os valores da primeira coluna de resina com a segunda coluna de resina.

Figura 13 – Variação da Condutividade Elétrica em função do tempo após primeira coluna de resina(a); e após a segunda coluna de resina (b)



Pode-se perceber que a primeira coluna de resina não foi tão eficaz na diminuição da condutividade elétrica, onde podemos concluir que as resinas não estavam em seu perfeito estado não conseguindo assim fazer as trocas iônicas tão bem quanto à segunda coluna de resina que conseguiu reduzir quase 100% da condutividade elétrica, fazendo assim uma melhor troca iônica.

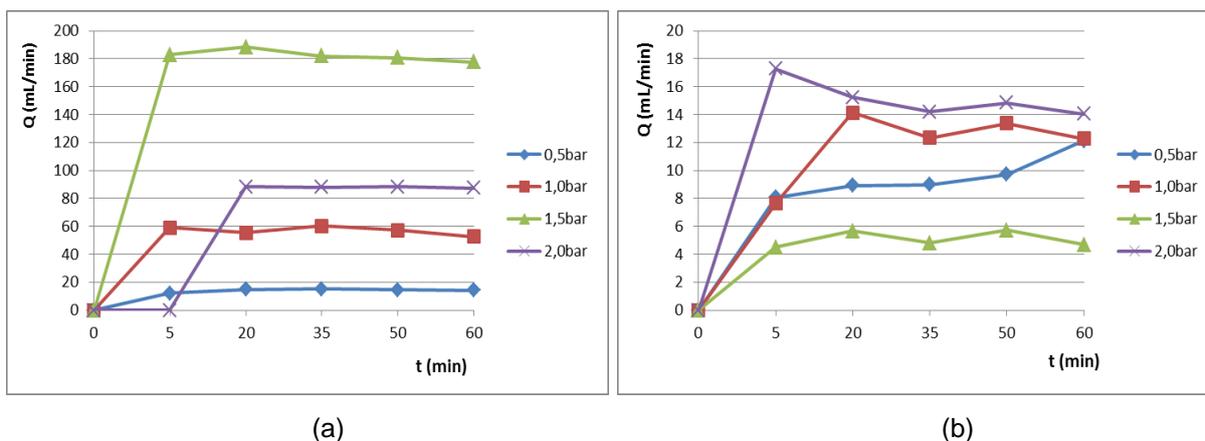
5.4 VAZÃO (Q)

As vazões foram calculadas em 5 pontos diferentes sendo todos eles: após ao filtro de carvão, após a membrana, antes de entrar na primeira coluna de resina, após a primeira coluna de resina, após a segunda coluna de resina. Nos tempos de 0, 5, 20, 35, 50, 60 minutos.

Na figura 14 (a) abaixo a vazão do filtro de carvão versus o tempo é bem maior do que a vazão da membrana cerâmica figura 14 (b), onde obtemos respectivamente as vazões de 182,28 mL/min na pressão de 1,5bar para o filtro de carvão versus 15,12 mL/min na pressão de 2,0bar da membrana.

Isso acontece se caracterizando devido aos poros do filtro de carvão ser bem maior do que os da membrana cerâmica, a água passa mais rápida nos poros do filtro de carvão fazendo com que sua vazão seja maior, este fato acaba explicando também por que as taxas de remoção de cor e turbidez da membrana cerâmica serem maior do que as do filtro de carvão.

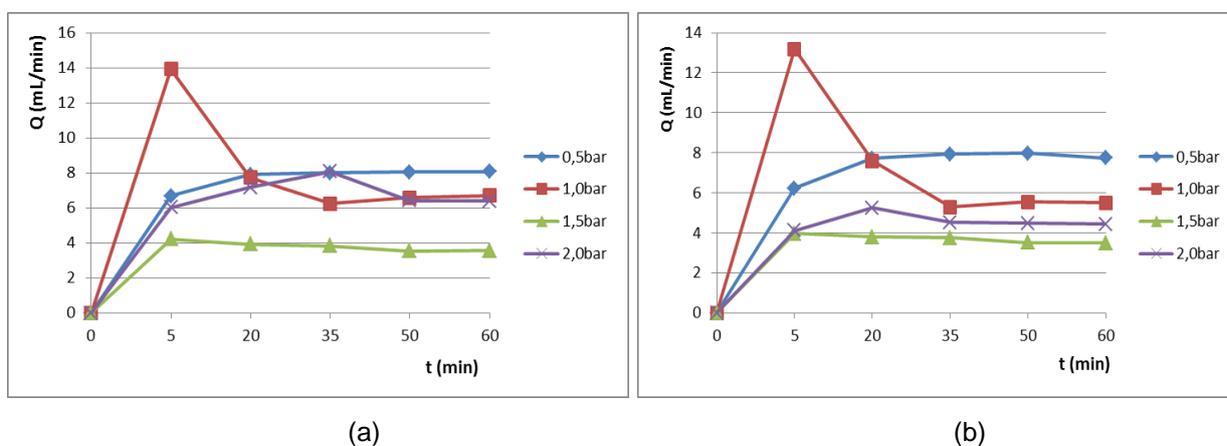
Figura 14 – Variação da vazão em função do tempo, após o filtro de carvão (a) e após a membrana cerâmica (b)



Analisando as vazões de entrada na primeira coluna de resina mista com as de saída da primeira coluna de resina podemos ver vazões bem parecidas, como se pode visualizar na figura 15 (a) e (b) a seguir.

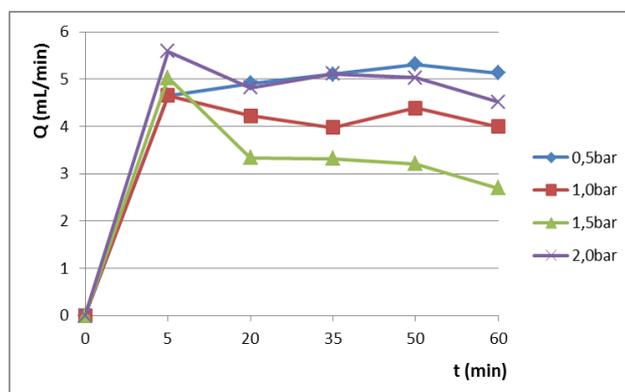
Ambas as vazões têm valores bem próximos, sendo a melhor vazão de entrada da primeira coluna de resina de 7,7 mL/min na pressão de 0,5bar e a melhor vazão após a primeira coluna de 7,5 mL /min também na pressão de 0,5bar.

Figura 15 – Variação da vazão em função do tempo na entrada na primeira coluna de resina (a) e na saída da mesma (b)



A vazão de saída da segunda coluna de resina, que está sendo representada pela figura 16, apresentou a maior vazão alcançada foi de 5,6 mL/min na pressão de 2,0bar.

Figura 16 – Variação da vazão em função do tempo em relação a segunda coluna de resina

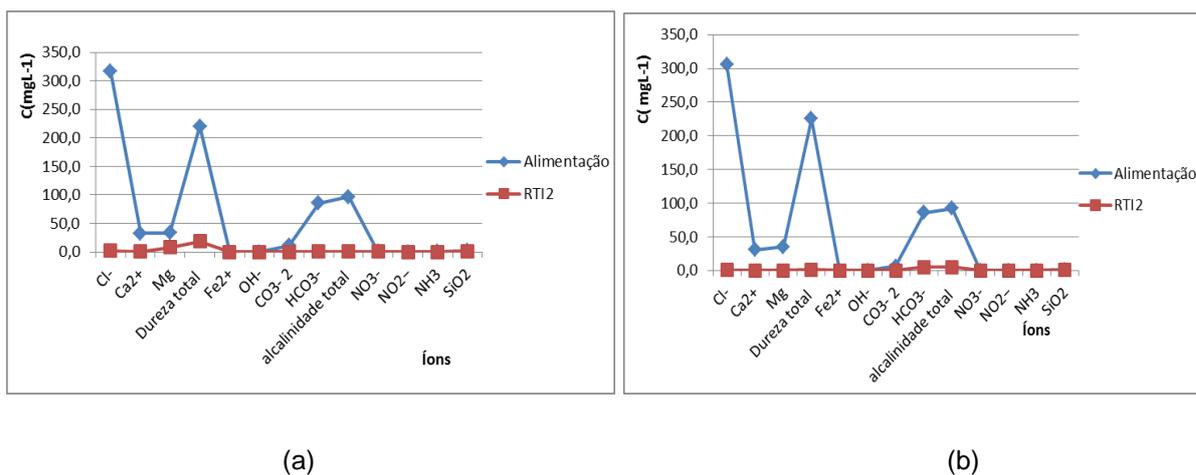


5.5 CONCENTRAÇÃO DE SAIS DA ALIMENTAÇÃO E DA RESINA DE TROCA IÔNICA

Foram feitas análises completas da alimentação no tempo zero ($t=0$) e da segunda coluna de resina de troca iônica no tempo de 60 minutos, caracterizando as análises de entrada e da saída da água em estudo.

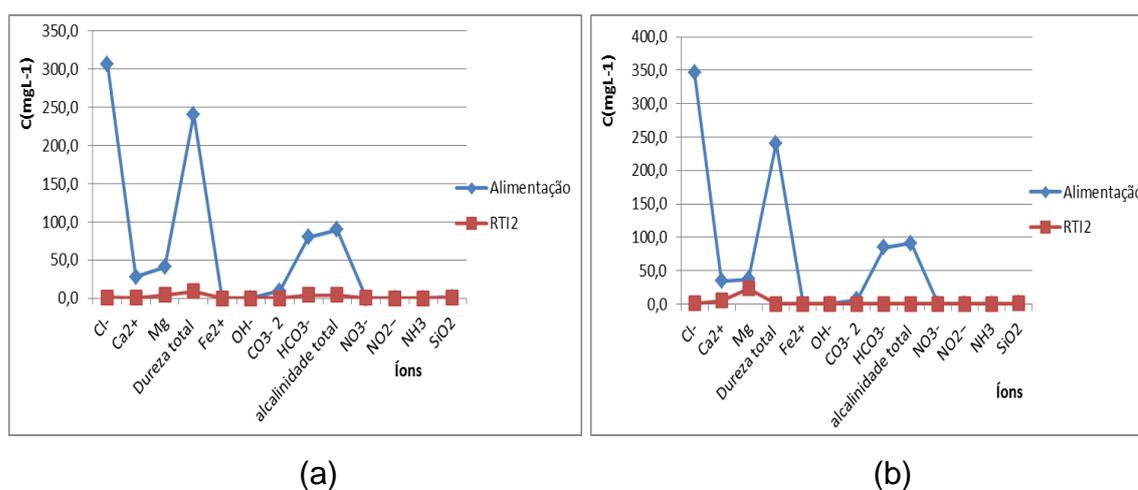
Na figura 17 tem-se a concentração versus os íons da alimentação e da segunda coluna de resina de troca iônica (RTI2) nas pressões de 0,5 bar (a) e na pressão de 1,0 bar (b).

Figura 17 – Variação da concentração em função dos íons nas pressões de 0,5 e 1,0 bar



Já na figura 18 tem-se a concentração versus os íons da alimentação e da segunda coluna de resina de troca iônica (RTI) nas pressões de 1,5 bar (a) e 2,0 bar (b).

Figura 18 – Concentração versus íons nas pressões de 1,5 e 2,0 bar



Todos os gráficos de concentração versus íons mostram um comportamento em comum entre todas as pressões 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 exercidas, tendo uma maior

remoção de cloretos (Cl^{-1}) significando numa proporção maior de resina aniônicas do que resinas catiônicas, os valores de dureza total também sofreram uma grande redução, mostrando o poder de remoção de íons que as resinas têm.

6 CONCLUSÃO

O desempenho de membranas cerâmicas como pré-tratamento de resinas trocadoras de íons em sistemas de produção de água deionizada foi avaliado, adicionalmente, foram calculadas as taxas de remoção de íons por meio da resina trocadora de íons, além de avaliar o fluxo do permeado das membranas cerâmicas em função da pressão de operação.

Ao se analisar o sistema de testes, constituído exclusivamente pela membrana cerâmica, observou-se que o uso das membranas cerâmicas para o pré-tratamento de água destinada à deionização com resinas trocadoras iônicas mostrou-se efetivo, uma vez que, atingiu-se remoções de 66 e 41% dos teores de cor e turbidez, respectivamente.

Essa remoção de cor e turbidez foi observado também no sistema piloto completo, que operou com filtro de carvão, membrana e resina. Obteve-se remoções de cor de 75% após o filtro e 100% após passagem pela membrana cerâmica, para uma pressão de operação de 1,0 bar.

Os resultados demonstraram que as resinas trocadoras de íons, apresentaram excelentes resultados para redução de condutividade obtendo valores para taxa de remoção de até 98,8%, devido à remoção de íons e pode-se perceber através de gráficos de concentração versus íons que a proporção de resina aniônica era maior que as resinas catiônicas.

Diante de todos os resultados obtidos e das análises feitas pode-se concluir que o melhor resultado obtido foi com a pressão de 0,5 bar tendo a melhor remoção de íons caracterizada pela baixa condutividade elétrica e tendo também a melhor vazão com 5,6 mL/min.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. M. **A resina de troca iônica como extrator multielementar em análise de solos para fins de fertilidade**. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Departamento de Química Analítica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 122f. 1999.
- ANADÃO, P. **Ciência e Tecnologia de Membranas**. São Paulo: Artliber Editora, 2010.
- APHA (American Public Health Association), **Standard Methods for the examination for water and wastewater**, 20th, Washington DC, 1220 p., 1998.
- AQUINO, V. **A importância da resina de troca iônica seletiva no reúso da água industrial**. *Revista e Portal Meio Filtrante*, 40ed, 2009. Disponível em: <http://www.meiofiltrante.com.br/materias_ver.asp?action=detalhe&id=519&revista=n40>. Acesso em 21 ago. 2015.
- BENFER, S.; POPP, U.; RICHTER, H.; SIEWERT, C.; TOMANDL, G. **Development and Characterization of Nanofiltration Membranes, Separation e Purification Technology**, Germany, v. 22, p. 231-237, 2001.
- BHAVE R.R. **Inorganic Membranes-Synthesis, Characteristics and Applications**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 7ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2008.
- CARBOMAFRA, INDÚTRIAS QUÍMICAS S.A. **Carvão Ativado**. *Boletim Técnico*. Curitiba, PR, 2007.
- CARVALHO, H. F.; RECCO-PIMENTEL, S. M. **Moléculas importantes para a compreensão da célula e do seu funcionamento**. In: A célula. 2ed. São Paulo: Manole, 2007.
- CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Qualidade da Água**. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/Calandraweb/CalandraRedirect/?Proj=sabesp&Pub=T&Temp=0>>. Acesso em 09 set. 2015.

DIAS, J. C. **Adsorção de ácidos carboxílicos em carvão ativado: comparação das isotermas de Freundlich e Freundlich estendida.** Dissertação (Mestrado em Ciências/Materiais e Processos de Fabricação) - Faculdade de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1998.

DOW, **Ion Exchange Applications**, Disponível em: <http://www.dow.com/liquidseps/prod/ix_apps.htm>. Acesso em 15 de jun. de 2015.

FERREIRA, L. O. **Avaliação de diferentes adsorventes na recuperação de metanol utilizado em cromatografia líquida de alta eficiência.** (CLAE. Dissertação (Mestrado em Ciências/Química) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

FILHO, D. F. DOS SANTOS, **Tecnologia de Tratamento de Água**, Ed. Livraria NOBEL, 2ª. Edição, 1983.

GEAFILTRATION. **Pharmaceutical / Biotechnology Applications.** Disponível em: <http://www.geafiltration.com/applications/pharmaceutical_applications.asp> Acesso em 10 jun. 2015.

GILLOT, J. **The Developing Use of Inorganic Membranes: A Historical Perspective.** In: BHAVE, R. R. *Inorganic Membranes*. 1. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

GOMIDE, R. **Operações unitárias:** operações de transferência de massa. São Paulo: Edição do autor, v. 4. 442 p, 1988.

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

HOWELL, J. A.; SANCHEZ, V.; FIELD, R. W. **Membrane in Bioprocessing: Theory and Applications.** London: Chapman & Hall, 1993.

HSIEH, H. P. **Inorganic Membranes for Separation and Reaction.** 1 ed. Amsterdam: Elsevier Science, 1996.

LENNTECH. **Water treatment and air purification.** Disponível em: <<http://www.lenntech.com/espanol/tecnologia-de-membrana.htm>>. Acesso em 09 de jun. de 2015.

LIRA, H. L.; PATERSON, R. **New and modified anodic alumina membranes Part III. Preparation and characterisation by gas diffusion of 5 nm pore size anodic alumina membranes.** *Journal of Membrane Science*, v. 206, 2002.

MARDILOVICH, P.; GOVYADINOV, A. N.; MUKHUROV, N. I.; RZHEVSKII, A. M.; PATERSON, R. **New and modified anodic alumina membranes.** Part I.

Thermotretment of anodic alumina membranes. *Journal of Membrane Science*, v.98, 1995.

MUCCIACITO, J. C. **Conceitos e aplicações do carvão ativado**. *Revista e Portal Meio Filtrante*. Ano V, set./out., 2006. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=254>>. Acesso em 16 jun. 2015.

MUCCIACITO, J. C. **Tratamento com resinas trocadoras de íons**. *Revista e Portal Meio Filtrante*. Ano V, 2007. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=290>>. Acesso em 14 jun. 2015.

MUSSATO, S. I.; ROBERTO, I. C. **Avaliação de diferentes tipos de carvão ativado na destoxificação de hidrolisado de palha de arroz para produção de xilitol**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 24, n. 1, p. 94-100, 2004.

OLIVEIRA, P. S.; ALMEIDA, R. M. R. G. **Adsorção de glicose e frutose em carvão ativo e resina de troca iônica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA UNICAMP, 2005. 6 p. Disponível em: <<http://www.feq.unicamp.br/~cobeqic/tBT37.pdf>>. Acesso em 16 jun. 2015.

POHL, P. **Application of Ion-Exchange Resins to The Fractionation of Metals in Water**. *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 25, No. 1, 2006.

RICHTTER, C.A; NETTO, J.M.A. **Tratamento de Água**. São Paulo, 2002.

SANTOS, C.; TEIXEIRA, L. H. P.; STRECKER, K.; ELIAS, C. N.; SUDO, D. M. B. **Anais: Influência da temperatura de sinterização nas propriedades das cerâmicas biocompatíveis ZrO₂ e Al₂O₃**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 49, São Paulo, Brasil 2005.

SALATA, C.C. **Sistemas de purificação de bioetanol para mini destilarias de mandioca**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2012.

SANTOS, M. C. R. **Quantificação e remoção de íons de cobre em aguardente**. 2009. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2009.

SCHNEIDER, E. L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado**. 2008. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química /Desenvolvimento de Processos) - Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SENAI. **Etapas do Processo Cerâmico e sua Influência no Produto final – Massa, Extrusão, Secagem e Queima**. *Dossiê Técnico*. Rio Grande do Sul, Brasil, 2006.

SILVA, F.A. **Desenvolvimento de Membranas Cerâmicas Tubulares a Partir de Matérias-Primas Regionais para Processo de Microfiltração**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2009.

SILVA, J. I. S.; MELO, J. B. ; FRANCA, K. B. **Obtenção de água para fins de análises através de um sistema composto por membranas eletrodialíticas e resinas trocadoras de íons**. In: 1º Congresso Químico do Brasil, 2010, João Pessoa. Anais do 1º Congresso Químico do Brasil, 2010.

STELLA, F. M. **Efeito da filtração com resinas iônicas sobre a qualidade da cachaça**. 2010. 95f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Setor de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

Uhlhorn, R. J. R, K. Keizer, A. J. Burggraaf, J. **Membrane Sci**. 1992.

VOGEL, A.; **Análise Química Quantitativa** , 6th ed., LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.: Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

ANEXOS

Laudo N°.:/2015		Data da Coleta:
Interessado:		Resp. pela Coleta: Interessado
Município:		Data da Entrega da Amostra:
Localidade:		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: 0,5 bar	Vazão(*):	Data da Análise:

PARÂMETROS	Alimentação	Permeado	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	948,8	20,21	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	6,6	4,39	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	1	0,3	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	15	0	15,0
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	316,7	2	250,0
Dureza em Cálcio (Ca ⁺⁺), mg/L	32,8	0,7	---
Dureza em Magnésio (Mg ⁺⁺), mg/L	33,2	8	---
Dureza Total (CaCO ₃), mg/L	220,5	18,5	500,0
Ferro Total, mg/L	0,02	0,01	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0	0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	11,2	0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	85,6	0,4	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	96,8	0,4	---
Nitrato (NO ₃ ⁻), mg/L	0,04	0,4	10,0
Nitrito (NO ₂ ⁻), mg/L	0	0,01	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,11	0	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	1,7	0,9	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-1,46	-7,11	≤ 0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:
De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.
OBSERVAÇÕES:
1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.
A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.
Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França Data: 02/01/2002

Laudó N^o ./2015		Data da Coleta:
Interessado:		Resp. pela Coleta: Interessado
Município:		Data da Entrega da Amostra:
Localidade:		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: 1,0 bar	Vazão(*):	Data da Análise:

PARÂMETROS	Alimentação	Permeado	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	944,1	18,84	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	8,3	5,29	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	0,5	0,4	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	15	0	15,0
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	31	0,2	250,0
Dureza em Cálcio (Ca ⁺⁺), mg/L	35,4	0,1	---
Dureza em Magnésio (Mg ⁺⁺), mg/L	225	1	---
Dureza Total (CaCO ₃), mg/L	305,3	0,7	500,0
Ferro Total, mg/L	0,02	0,01	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0	0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	6,4	0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	86	4,8	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	92,4	4,8	---
Nitrato (NO ₃ ⁻), mg/L	0	0,22	10,0
Nitrito (NO ₂ ⁻), mg/L	0,01	0,01	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,01	0	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	1	0,7	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,17	-3,13	≤ 0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:
De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.
OBSERVAÇÕES:
1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.
A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.
Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França Data: 02/01/2002

Laudo N^o./2015		Data da Coleta:
Interessado:		Resp. pela Coleta: Interessado
Município:		Data da Entrega da Amostra:
Localidade:		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: 1,5 bar	Vazão(*):	Data da Análise:

PARÂMETROS	Alimentação	Permeado	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	1.056,00	17,96	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,9	4,61	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	1,4	0,53	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	30	5	15,0
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	306	1,2	250,0
Dureza em Cálcio (Ca ⁺⁺), mg/L	27,8	0,4	---
Dureza em Magnésio (Mg ⁺⁺), mg/L	41,2	4,5	---
Dureza Total (CaCO ₃), mg/L	241	9,2	500,0
Ferro Total, mg/L	0,02	0	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0	0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	9,6	0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	80	4	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	89,6	4	---
Nitrato (NO ₃ ⁻), mg/L	0,04	0,31	10,0
Nitrito (NO ₂ ⁻), mg/L	0,01	0,01	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,09	0	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	1,3	1,1	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,21	-6,1	≤ 0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)

Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França Data: 02/01/2002

Laudo N^o ./2015		Data da Coleta:
Interessado:		Resp. pela Coleta: Interessado
Município:		Data da Entrega da Amostra:
Localidade:		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: 2,0bar	Vazão(*):	Data da Análise:

PARÂMETROS	Alimentação	Permeado	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	1.083,00	21,23	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,7	4,68	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	1,2	0,58	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	20	5	15,0
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	345,8	0,2	250,0
Dureza em Cálcio (Ca ⁺⁺), mg/L	34,4	1,1	---
Dureza em Magnésio (Mg ⁺⁺), mg/L	37,1	5	---
Dureza Total (CaCO ₃), mg/L	240,5	23,4	500,0
Ferro Total, mg/L	0,05	0,02	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0	0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	6,4	0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	84,8	0	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	91,2	0	---
Nitrato (NO ₃ ⁻), mg/L	0	0,19	10,0
Nitrito (NO ₂ ⁻), mg/L	0,003	0,028	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,18	0,56	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	1	0,3	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,37	-8,83	≤ 0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)

Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França Data: 02/01/2002