

## **TRATAMENTO DA ÁGUA ATRAVÉS DE TROCA IÔNICA POR MEIO DE ZEÓLITAS COMO PROPOSTA PARA MELHORIA DA REOLOGIA DA FRITA CERÂMICA E DOS COMPOSTOS MOÍDOS**

**Salesio Sebastião de Oliveira Junior<sup>1</sup>**

**Tatiani Malgarise Brolesi Ciseski<sup>2</sup>**

**Resumo:** Empresas do ramo de colorifício produzem insumos para utilização em cerâmicas. Indústrias nesse segmento fabricam fritas, engobes, esmaltes, granilhas entre outros. A Empresa usa água provinda de poços artesianos, portanto, a água tem uma dureza elevada, agravando assim um dos maiores problemas ao utilizar água dessa natureza, pois os alcalinos e alcalinos terrosos, influenciam na reologia do produto cerâmico, atrapalhando na viscosidade. Retirando os íons livres da água no seu resfriamento, a dureza da água pode ser eliminada podendo melhorar a reologia da frita cerâmica. Como metodologia para a pesquisa foram utilizados dois tipos de zeólitas: do tipo A e tipo X comerciais e as sintetizadas a partir da cinza do carvão. Mantendo o pH do efluente sem alterações e trabalhando na temperatura real do efluente, foram realizados teste de contato com um volume de 500 mL de efluente, por agitação constante por uma hora, os efluentes foram filtrados por um filtro simples e encaminhados para análise. Através de análises com fluorescência de Raio X (FRX), espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) e algumas análises titulométricas, foi possível constatar a redução da dureza total da água em mais de 90% e teve-se uma remoção considerável dos metais cálcio e magnésio. Testes de reologia com o efluente tratado não apresentaram a eficiência desejada, a viscosidade aumentou, possivelmente, por conta da liberação de sódio pela zeólita na troca iônica. O tratamento apenas com aluminossilicato neste caso, não é eficiente.

**Palavras-chave:** Zeólita. Reologia. Tratamento de efluente.

### **1 INTRODUÇÃO**

Empresas do ramo de colorifício produzem insumos para utilização em cerâmicas. Indústrias nesse segmento fabricam as fritas que são materiais vítreos fundidos, a partir de matérias-primas com as características voltadas para cada tipo de frita, a qual passam por um forno de fusão com temperatura em torno de 1500°C e são resfriadas com o auxílio de água. A Empresa Novacolor Beneficiamento e

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Química. E-mail: salesio.oliveira.junior@gmail.com

<sup>2</sup> Professora Mestra em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais. E-mail: tatiani.brolesi@satc.edu.br

Moagem LTDA., trabalha também com o beneficiamento de matéria-prima, moagem por via úmida e uma equipe especializada para desenvolver compostos cerâmicos. São produzidos, além de fritas cerâmicas, granilhas, engobes e esmaltes.

A Empresa usa água provinda de poços artesianos, portanto, a água tem uma dureza elevada, agravando assim um dos maiores problemas ao utilizar água dessa natureza. Os alcalinos e alcalinos terrosos influenciam na reologia do produto cerâmico, atrapalhando na viscosidade. Retirando os íons livres da água no seu resfriamento que é do tipo semi-aberto, a dureza da água pode ser eliminada, podendo assim melhorar a reologia da frita cerâmica.

No choque térmico que é dado na frita, a água utilizada vai para o sistema de resfriamento e volta para o processo. Atualmente, na Empresa não há tratamento dessa água para diminuição da dureza e essa dureza pode ser tratada por diversos meios, onde abrandamento ou a troca iônica são comumente usados.

A importância do tema é relevante para a diminuição da quantidade de defloculante que é utilizado para deixar o produto nos parâmetros solicitados pelo cliente. A dureza da água pode ser um dos fatores que afetam a moagem impedindo que os esmaltes/engobes fiquem nos padrões reológicos, já que a água em questão entra em contato direto com a frita, podendo assim interferir na barbotina. O tratamento da água, além de trazer o fator economia, pela diminuição do uso de aditivos, trará praticidade e menos complexidade no desempenho das atividades do setor de controle de qualidade para deixar a moagem nos parâmetros pré-definidos.

A água da saída do forno será analisada, a dureza e demais parâmetros serão quantificados e, em seguida, será tratada pelo processo de troca iônica com o uso de zeólita tipo A e tipo X. Após o tratamento com os dois tipos de zeólita, será feito um comparativo entre os materiais utilizados, levando em consideração a eficiência que cada zeólita desempenhará no tratamento dessa dureza.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Coloríficos cerâmicos formam uma cadeia produtiva de diversos segmentos, fornecendo insumos utilizados pelas indústrias cerâmicas na produção dos pisos e revestimentos que são utilizados na cobertura, decoração dessas peças, como engobes e esmaltes (JUNIOR et al., 2010).

Segundo Zanatta e Nandi (2014), a frita é o principal produto do ramo do colorifício e pode ser comercializada na forma natural ou em formulação com outras matérias-primas formando além dos engobes e esmaltes, as granilhas e tintas serigráficas. No Brasil o ramo conta com algumas empresas que se localizam no interior de São Paulo e no Sul de Santa Catarina.

Lalau et al. (2016), afirma que uma das tecnologias comumente utilizadas para moagem, é a via úmida, pois permite uma melhor característica na massa se comparado à via seca e apresenta melhor homogeneidade da barbotina, com uma melhor conformação da massa. Essa tecnologia utiliza uma quantidade de água elevada e quando essa água possui íons dissolvidos em seu meio são capazes de interagir com os componentes, interferem no processo de defloculação, alterando o comportamento reológico da suspensão.

## 2.1 PROCESSO PRODUTIVO

As empresas do ramo de colorifício fabricam produtos destinados ao ramo cerâmico e que formam uma camada vítrea na superfície das peças e aprimoram a parte decorativa (ABCERAM, 2018).

### 2.1.1 Frita cerâmica

As fritas cerâmicas são materiais vítreos preparados por meio de fusão de uma combinação de matérias-primas de natureza mineral e química. As fritas aumentam o intervalo de queima dos esmaltes e dão uma maior uniformidade no acabamento (ZANATA; NANDI, 2014).

Segundo Sánches (1997), transformar os componentes solúveis em água, que se fazem presentes em matérias-primas é a principal razão para utilização de fritas cerâmicas, que serão posteriormente utilizadas em compostos para o recobrimento cerâmico mediante à fusão com outros componentes, que maturam e dão uma textura mais lisa e brilhante ao vidrado.

Os colorifícios utilizam, e beneficiam, uma variedade vasta de matérias-primas sintéticas e naturais, como feldspatos, quartzos, calcários, argilas, zircônio e

talco, que combinadas e através da formulação são colocadas em um forno de fusão com uma temperatura em torno de 1500 °C (JUNIOR et. al. 2010).

### **2.1.2 Engobe**

O engobe confere uma cobertura aplicada em uma peça cerâmica de monoqueima ou biqueima constituída por argilas, caulins, materiais não plásticos (quartzo, feldspato, fritas fundentes, etc.). Tem como finalidade de eliminar os defeitos superficiais do corpo cerâmico, estética, isolar a camada de esmalte da peça cerâmica para eliminar as reações de decomposição que o esmalte quando fundido provoca nos componentes da massa e a liberação de gases que acompanha esse processo (PRACIDELLI, 2008).

### **2.1.3 Vidrado**

De acordo com Pracidelli (2008), os esmaltes são obtidos por fusão de substâncias que são capazes de formar vidro, seguido da etapa do resfriamento, passa de uma estrutura cristalina para uma amorfa, ou uma mistura dessas duas fases, fornecendo o brilho da peça, impermeabilidade além da resistência mecânica e química. Os vidros e esmaltes são líquidos com viscosidade elevada. Devido à sua rigidez mecânica, possuem aparência de sólido e do ponto de vista mecânico, os vidrados assemelham-se aos sólidos, mas, se a sua estrutura for considerada, se encaixam nos líquidos.

### **2.1.4 Moagem**

A moagem das matérias-primas, que tem por finalidade homogeneizar o material, é utilizada para a fabricação das barbotinas, criando um estado uniforme de distribuição de tamanhos de partículas, com a finalidade de dar as características desejadas ao produto acabado. Para tal procedimento, usa-se comumente o moinho de bolas. Um moinho de bolas consta de um tambor cilíndrico rotativo ou um jarro cilíndrico de porcelana (quando feito em escala laboratorial), onde é parcialmente preenchido por esferas que podem ser de diferentes materiais (alumina, aço, pedra,

entre outros) e levados à agitação. A velocidade dessa rotação é dada por RPM e além da velocidade, tem-se as forças gravitacionais e centrífugas agindo na moagem (BERNARDINI et. al, 2017).

## 2.2 REOLOGIA

De acordo com Torres et al. (2004), o comportamento de uma suspensão cerâmica pode ser definido por fatores diversos, como a reologia do esmalte e as variáveis de produção. O comportamento pseudoplástico, como é chamado, se dá quando a viscosidade aparente do fluido diminui com o aumento da taxa e/ou da tensão de cisalhamento (ROCHA; ZANARDO; MORENO, 2008).

Scharamm (2006), descreve a reologia como a deformação de um corpo que está sob influência de tensões, corpos esses que podem ser sólidos, líquidos ou gases. Alega ainda, que sólidos ideais se deformam elasticamente e a energia requerida para tal influência é completamente recuperada quando essa tensão é removida. Já em fluidos ideais (líquidos e gases), essa deformação é irreversível, e a energia requerida para a tal deformação dissipa-se sob a forma de calor e não é recuperada com a remoção da tensão.

### 2.2.1 Influências da reologia no produto

De acordo com Silva et al. (2016), o estudo das propriedades reológicas de suspensões requer um estudo mais aprofundado, pois conhecendo essas características tem-se a garantia da homogeneização, estabilidade e redução de defeitos. Sendo que a viscosidade deve ser a principal propriedade a ser estudada, pois essa que descreve a facilidade de escoamento, a deformação sob a ação de uma tensão de cisalhamento externa. A barbotina cerâmica tem um comportamento reológico complexo, devido a formação de uma estrutura com diferentes formas e tamanhos. Essas suspensões cerâmicas consistem em misturas do tipo sólido/líquido, onde as partículas sólidas são diluídas em meio aquoso e através das forças de Van der Waals, uma interação superficial entre os dipolos elétricos, presentes no interior das partículas, é provocada.

Rocha, Zanardo e Moreno (2008), alegam também que para a preparação de massa por via úmida, é muito importante chegar a uma barbotina ou suspensão argilosa, com propriedades de fluidez e viscosidade controladas. Sendo assim, é primordial um estudo do comportamento reológico das suspensões.

## 2.3 ÁGUA

De acordo com Macêdo (2004), aproximadamente 97 % da água existente no planeta é salgada proveniente dos mares e oceanos. O percentual restante corresponde à água potável, onde  $\frac{2}{3}$  dessa água é encontrada nas geleiras e calotas polares e o restante deste montante pode ser encontrado nos reservatórios subterrâneos, lagos e atmosfera. As águas naturais podem ser classificadas conforme Qd. 1.

Quadro 1: Classificação das águas naturais encontradas.

Classificação	Fonte	Descrição
Água de chuva	Meteóricas	Com o maior nível de pureza existente, resultado de uma destilação simples.
Água dos rios e fontes	Superficiais	Contém 0,2 % de sais dissolvidos. São chamadas de águas minerais e termais.
Água do mar	Superficiais	Contém 3,5 % de sais entre os muitos, destacam-se o sódio e cloreto de magnésio.
Água dura	Superficiais e subterrâneas	Contendo carbonato, bicarbonato ou sulfato de cálcio ou magnésio, essa água favorece a calcificação dos ossos e dentes, porém no setor industrial causam problemas.

Fonte: Martins (2001, p. 2)

### 2.3.1 Água de poços artesianos

Martins (2001) afirma que as águas subterrâneas estão distribuídas em lençóis freáticos livres, semi-artesianos e artesianos. Os freáticos ou livres, são os que estão entre as camadas de solo mais próximas da superfície e são mais facilmente contaminadas. Os semi-artesianos estão entre as camadas permeáveis do solo, são sujeitas aos movimentos normais da água e exigem bombeamento para extração. Os

artesianos estão na camada mais profunda, sujeitos à pressão maior que a atmosférica, e geralmente não sofrem contaminação, mas possuem uma grande quantidade de substâncias minerais dissolvidas como cálcio, magnésio e ferro, tornando-a uma água dura.

### 2.3.2 A dureza da água

Segundo Macêdo (2004), a presença dos íons cálcio (Ca) e magnésio (Mg), na água não tem interferência sanitária, mas apresentam riscos quando a água com altas concentrações desses íons é utilizada em tubulações domésticas e/ou industriais, pois pode provocar incrustações em tubulações. Na indústria podem causar incrustações em caldeiras, fazendo assim uma redução da transferência de calor, acelerar a corrosão e em virtude do entupimento pode até causar explosões.

De acordo com Baccan et al. (2001), a dureza total é a soma das durezas individuais atribuídas à presença de íons cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Alegam ainda que a composição química da água e a sua dureza estão relacionadas com o solo onde são encontradas. Sendo assim, águas brandas são encontradas em solos basálticos, areníferos e graníticos, enquanto as águas duras são comumente encontradas em solos calcários. Um dos agravantes da utilização dessa água, é a formação de crostas em caldeiras a vapor, causando elevadas perdas de calor e podendo provocar explosões se não houver a manutenção preventiva.

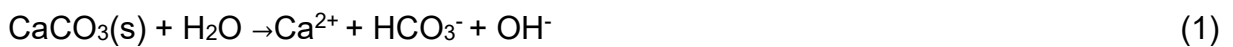
Hage e Carr (2012) afirmam que a água dura é um problema para o homem por conta dos encanamentos. A dureza da água (concentração de carbonato de cálcio em partes por milhão ou mg/L) representa a concentração total de íons cálcio e magnésio em água. No Qd. 2, consta a classificação da dureza da água de acordo com as concentrações de carbonato de cálcio.

Quadro 2: Classificação de dureza da água.

Dureza (ppm)	Classificação de dureza
≤ 55	Mole
55 a 120	Moderada
120 a 250	Dura
> 250	Muito dura

Fonte: Adaptado de Hage e Carr (2012, p. 319)

Os íons cálcio penetram em águas subterrâneas quando entram em contato com o calcário ( $\text{CaCO}_3$ ), forma bicarbonato e íons hidróxidos. Quando a água dura é aquecida ou evaporada, forma novamente carbonato de cálcio e deposita esse mineral em superfícies, como o interior de um tubo ou de um aquecedor. Outro problema da água dura é a formação de espumas que se dá por um precipitado insolúvel dos ácidos graxos com íons cálcio. A Reação (1) mostra a formação de bicarbonato e íons hidróxidos a partir do contato da água com o calcário (HAGE; CARR, 2012).



A determinação da dureza, afirma Skoog et al. (2013), pode ser feita por um teste analítico que fornece uma medida da qualidade da água para o uso doméstico e industrial. A água dura é geralmente determinada por meio de titulação com EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético), e após o tamponamento a pH 10, o magnésio (Mg) forma o complexo menos estável e a titulação não será completa até que tenha sido adicionado reagente suficiente para complexar todos os outros cátions na amostra. A calmagita ou o Negro de Eriocromo T são ótimos indicadores na titulação de água dura.

Hage e Carr (2012), alegam que a titulação complexométrica e titulação de precipitação, assemelham-se a uma titulação ácido-base, onde ambas usam uma medida do volume titulante para determinar a quantidade de um analito presente em uma amostra. A titulação complexométrica envolve a formação de um complexo, enquanto a de precipitação produz precipitados insolúveis.

## 2.4 SISTEMA DE RESFRIAMENTO

Comumente, utiliza-se três tipos de sistema de resfriamento: aberto, semiaberto e fechado. O sistema aberto é caracterizado pelo reuso da água após o processo, depois da água ser bombeada para um trocador de calor. Nesse sistema, o tratamento químico é impossibilitado, por questões de custos e por utilizar uma quantidade exorbitante de água. No sistema semiaberto, a água passa por uma torre de resfriamento após ter passado por um equipamento de troca térmica e é resfriada através do ar. O sistema fechado tem por característica a refrigeração em sistemas

fechados onde a água recircula pelo trocador de calor, sofrendo a refrigeração por meio de outro resfriador onde o meio refrigerante não entra em contato com a água (TROVATI, 2004).

Macêdo (2004) afirma ainda que o único tratamento possível no sistema de resfriamento aberto, seria a cloração. Para eficiência no tratamento desse tipo de água, deve ser considerado: a corrosão nos metais trocadores de calor; produtos que podem obstruir a passagem da água e começar o processo de corrosão devem ser estudados para uma melhor deposição; o crescimento microbiano. Sendo assim, a utilização de três tipos de produto é de costume, são os inibidores de corrosão, incrustação e os inibidores de crescimento microbiano.

## 2.5 ZEÓLITAS

Segundo Sena (2013), zeólitas são compostos cristalinos com aluminossilicatos hidratados de elementos do grupo dos metais e metais alcalinos da tabela periódica, em particular, sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), estrôncio (Sr) e bário (Ba). Ocorrem tanto naturalmente quanto sinteticamente. Zeólitas naturais são formadas a partir da precipitação de fluidos contidos nos poros, como acontece em casos hidrotermais, ou alteração de vidros vulcânicos. As sintéticas, são produzidas por géis de alumino-silicatos com restrito e rigoroso controle de composição, temperatura, pressão e atividades das espécies iônicas.

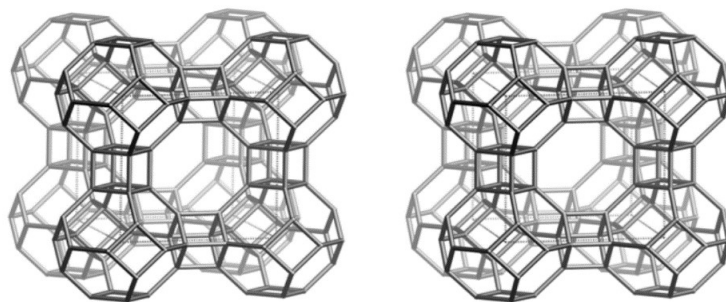
### 2.5.1 Zeólita tipo A

A Zeólita tipo A (LTA – Linde Type A) tem sido utilizada como adsorvente e em processos de purificação e separação e pelas suas propriedades é considerada de grande capacidade para a troca iônica, que resulta num elevado número de cátions de compensação presentes na sua estrutura. Usada como um agente no amolecimento da água, usada na indústria de petróleo e química como catalisador, trocador de íon ou peneira molecular, usada na formação de detergentes e remoção de água de secagem de gás refrigerante (MOREIRA, 2013).

Segundo Melo (2009), a zeólita tipo A é sintetizada sob forma sódica, usando o sódio como cátion trocável e apresenta uma relação Si/Al igual a 1. Através de troca iônica em solução aquosa, outras formas catiônicas podem ser preparadas.

Conforme ilustrado na Fig. 1, a estrutura da zeólita do tipo A pode ser descrita como a união de dois tipos de poliedros, um cubo simples, que é formado pela união de dois anéis de quatro tetraedros, e um octaedro truncado, que resulta na combinação de 24 tetraedros, conhecido comumente como cavidade  $\beta$  ou cavidade sodalita. A união das cavidades sodalitas se transformam em uma supercavidade  $\alpha$ , que se trata da união das suas quatro faces quadradas com os anéis duplos de quatro tetraedros, que formam um poliedro. A combinação destas cavidades  $\alpha$  entre si e em combinação com as cavidades  $\beta$  dá origem à estrutura final da zeólita (SENA, 2013).

Figura 1: Estrutura da zeólita tipo A.

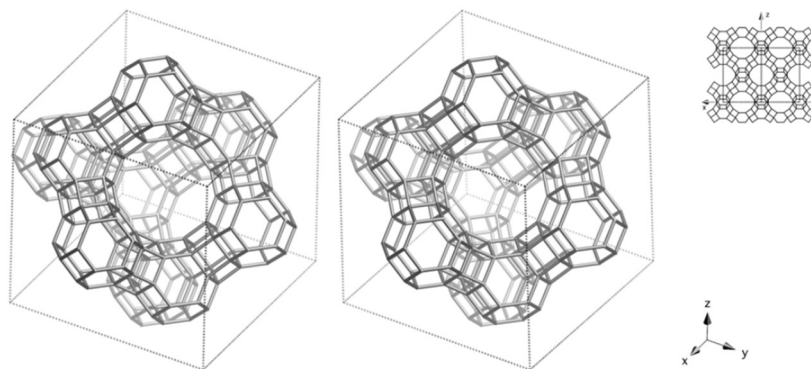


Fonte: Baerlocher; McCusker; Olson (2007, p. 194)

### 2.5.2 Zeólita tipo X

De acordo com Vicente, Lima e Cardoso (2016), a troca iônica associada à presença dos cátions que compensam a carga negativa relacionada aos tetraedros ( $\text{AlO}_4$ ), é uma propriedade das zeólitas. Estudos avaliam essa propriedade comparando as zeólitas faujasitas (FAU) do tipo X e tipo Y. Quando comparadas entre si, a zeólita do tipo X apresenta maiores conversões em relação à zeólita do tipo Y. Esse efeito, dá-se pelo teor de alumínio elevado na sua rede, e quanto maior for, maior o número e a força dos sítios com propriedades básicas. Diferentemente da zeólita do tipo A que são constituídas por anéis de 8 membros de oxigênio, as zeólitas do tipo X apresentam 12 anéis, conforme mostra a Fig. 2. A razão Si/Al nesse tipo de zeólita varia entre 1 e 3. O átomo de alumínio pode ser substituído por silício que reduz o número de cátion.

Figura 2: Estrutura da zeólita tipo X.



Fonte: Baerlocher; McCusker; Olson (2007, p. 140)

### 2.5.3 Troca iônica com o uso de zeólitas

A capacidade de troca iônica das zeólitas deve-se pelo desequilíbrio das cargas que atrairão o cátion mais próximo, de maneira a manter a neutralidade. Para neutralizar as cargas, os cátions trocáveis fixos eletrostaticamente ao longo das camadas estruturais, são utilizados. A força com que um íon é atraído é proporcional à sua carga iônica, sendo assim íons de valência maior são atraídos com mais intensidade pelo material. A propriedade de troca catiônica, dá-se devido ao silício (Si) e alumínio (Al). A natureza, tamanho e carga do cátion, concentração e o ânion associado ao cátion em solução, pH, temperatura da solução e a estrutura cristalina da zeólita podem influenciar na troca (MELO, 2009).

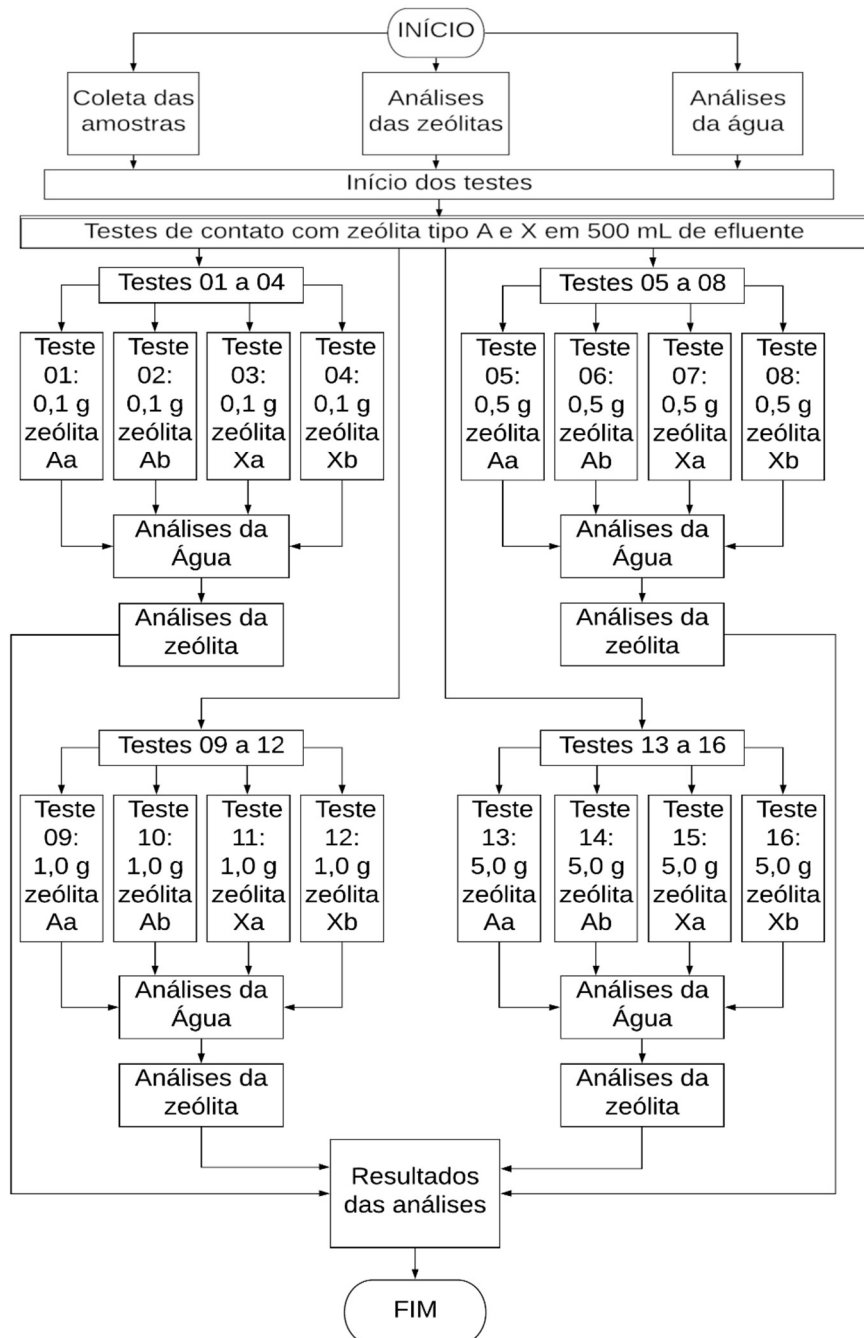
Suas principais aplicações estão relacionadas às propriedades de troca iônica, catalítica e de adsorção seletiva de gases e vapores. Estudos recentes empregam as zeólitas no tratamento de efluentes na remoção de metais pesados, tratamento de esgoto e no tratamento de águas subterrâneas (MELO, 2013).

## 3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para avaliar a eficácia da troca iônica, fez-se necessário determinar suas propriedades, características físicas e químicas, bem como delimitar os ensaios para aplicação do material. Para tanto, foram utilizados diferentes métodos de análise e classificação, sendo que estes serão executados pelo LAQUA – Laboratório de Análises Químicas e Ambientais, e pelo CTSATC – Centro Tecnológico SATC,

localizado na SATC – Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina, situada em Criciúma/SC. O fluxograma da proposta de tratamento usando as zeólitas dos tipos A e tipo X, sendo uma amostra sintetizada com cinza leve de carvão mineral (a) e uma amostra comercial (b) de cada, é representado pela Fig. 3, onde as concentrações de zeólita foram definidas baseadas no experimento de Alves et al. (2017). Zeólitas fornecidas pelo CTSATC.

Figura 3: Fluxograma da proposta de tratamento.



Fonte: Do autor (2019)

### **3.1 Coleta da amostra**

As amostras foram coletadas na saída do resfriamento e armazenadas em garrafas de polietileno com capacidade de 2 L, previamente higienizadas, lavadas com a água em estudo. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas no mesmo dia ao Laboratório de Análises Químicas e Ambientais (LAQUA) para as análises de pH e dureza. As análises de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram coletadas em frascos de polietileno de 500 mL acidificado para preservação dos elementos.

### **3.2 Análises da água e da zeólita**

As análises da água da saída do forno (já passadas pelo sistema de resfriamento, antes e após o contato com a zeólita), foram: pH, por meio do equipamento da marca OHAUS, modelo Starter 3100; dureza através do método de volumetria de complexação utilizando como indicador negro de eriocromo e o agente titulante EDTA (ácido etilenodiaminotetracético); e análise dos metais (Ca e Mg) com o equipamento ICP-OES, modelo Optima 8300 da marca PerkinElmer.

A zeólita do tipo A e tipo X foram analisadas antes e após o contato com a zeólita através do Espectrofotômetro de Fluorescência de Raios-X, por Energia Dispersiva (FRX - EDXRF), marca Shimadzu, modelo EDX-7000.

### **3.3 Testes de contato**

As amostras de água da saída do forno, com a temperatura real do efluente (entre 40 e 50 °C), após as análises iniciais, foram colocadas em contato com a zeólita do tipo A e tipo X (sintetizadas e comerciais) para verificação da eficácia da troca iônica na redução de dureza (Ca e Mg).

Os ensaios foram realizados em batelada, a constante agitação em um agitador magnético com rotação de 200 rpm, por 1 hora cada amostra.

A zeólita sintetizada do tipo A, foi identificada como “Aa”, e a comercial como “Ab”, para a zeólita do tipo X sintetizada, foi identificada como “Xa” e a comercial como “Xb”.

Os testes seguiram nas seguintes proporções:

- 0,1 g de zeólita para 500 mL de amostra de água (testes 01 a 04);
- 0,5 g de zeólita para 500 mL de amostra de água (testes 05 a 08)
- 1,0 g de zeólita para 500 mL de amostra de água (testes 09 a 12);
- 5,0 g de zeólita para 500 mL de amostra de água (testes 13 a 16).

### 3.4 Testes na frita

Após o contato com a zeólita, a água foi filtrada e usada nesta etapa de teste. A água tratada foi utilizada para fazer uma lavagem superficial da frita cerâmica para remover os metais que estivessem na sua superfície. O ideal nesta etapa, seria fazer uma fusão usando a água tratada no resfriamento, porém no momento é uma opção inviável por questões financeiras, por necessitar de uma quantidade grande da água tratada para usar no choque térmico.

Após a lavagem, a frita cerâmica foi moída usando uma fórmula com 180g de frita cerâmica e 20g de caulim, e testes de tempo de escoamento foram aplicados, comparando com um padrão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, uma alíquota de água foi coletada após o processo de resfriamento para análises de dureza total e de cálcio e magnésio. Conforme resultados apresentados no Qd. 3, a água foi considerada muito dura conforme Hage e Carr (2012), por ultrapassar a quantidade de 250 ppm ou mg/L.

Quadro 3: Análise da água bruta.

<b>Água Bruta: Análise inicial.</b>	
Dureza total (mg/L)	1708
Cálcio total (mg/L)	595
Magnésio total (mg/L)	84,25
pH	9,12

Fonte: Do autor (2019)

Na Tab. 1, tem-se os resultados de dureza total do efluente, obtidos após o teste de contato com as zeólitas sintetizadas e comerciais conforme procedimento experimental.

Tabela 1: Resultados de dureza total.

Massa de zeólita (g)	Identificação dos testes	Tipo de zeólita	Dureza total (mg/L)
0,1	Teste 1	Aa	1620
	Teste 2	Ab	1568
	Teste 3	Xa	1488
	Teste 4	Xb	1470
0,5	Teste 5	Aa	1490
	Teste 6	Ab	1420
	Teste 7	Xa	1426
	Teste 8	Xb	1378
1,0	Teste 9	Aa	1242
	Teste 10	Ab	1220
	Teste 11	Xa	1211
	Teste 12	Xb	1200
5,0	Teste 13	Aa	390
	Teste 14	Ab	388
	Teste 15	Xa	256
	Teste 16	Xb	160

Fonte: Do autor (2019)

A partir dos resultados obtidos, foi possível calcular o percentual de desempenho de cada zeólita na remoção da dureza total, conforme mostra a Tab. 2.

Tabela 2: Eficiência na remoção da dureza (%).

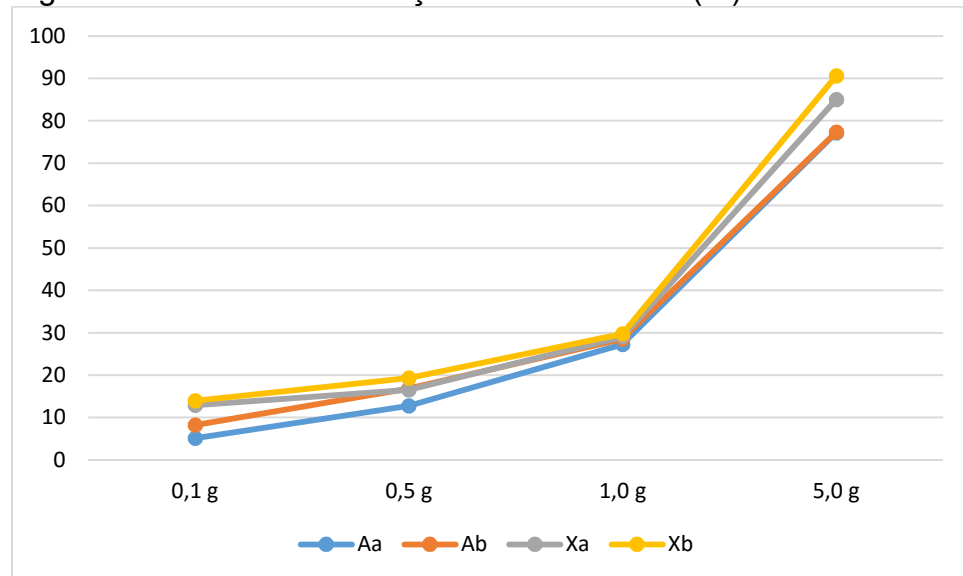
	0,1 g	0,5 g	1,0 g	5,0 g
Aa	5,15	12,76	27,28	77,16
Ab	8,19	16,86	28,57	77,28
Xa	12,88	16,51	29,09	85,01
Xb	13,93	19,32	29,74	90,63

Fonte: Do autor (2019)

Fazendo uma análise dos dados obtidos experimentalmente até este ponto, é possível afirmar que das zeólitas testadas, as do tipo X foram as que melhor apresentaram resultados de redução da dureza. Sendo que a zeólita do tipo A comercial, teve um melhor desempenho que a zeólita A sintetizada em quase todos os casos, com exceção dos testes com 5 g que os resultados se aproximaram, comprovando uma possível saturação da adsorção. A zeólita tipo X comercial, teve um melhor desempenho em todos os testes.

Pelo gráfico (Fig. 4), é possível observar o desempenho na remoção da dureza total de cada zeólita.

Figura 4: Eficiência na remoção da dureza total (%).



Fonte: Do autor (2019)

Verificando o raio do poro de cada zeólita, pelos laudos fornecidos apresentados na Tab. 3, é possível verificar que as zeólitas A tem um raio menor que as zeólitas X, podendo assim explicar a eficiência da zeólita X na adsorção, pois de acordo com Vaclavick (2010), quanto maior a área específica do sólido, maiores os índices de adsorção.

Tabela 3: Área do poro das zeólitas.

Código	Área superficial específica (m <sup>2</sup> /g)
Aa	35,283
Ab	27,562
Xa	478,952
Xb	482,043

Fonte: Do autor (2019)

Avaliando as zeólitas do tipo A e X, sem levar em consideração sua origem (comercial ou sintetizada), pode-se dizer que a zeólita tipo X obteve um melhor desempenho na remoção da dureza. Segundo Sena (2013) na zeólita tipo A, a transferência de matéria entre os espaços intracristalinos é limitada pelo diâmetro dos poros da zeólita, e enquanto as janelas de zeólitas A são constituídas de anéis com 8 membros de oxigênio, as zeólitas tipo X são constituídas de janelas com 12 anéis. Por esse motivo a zeólita do tipo X teve uma melhor adsorção.

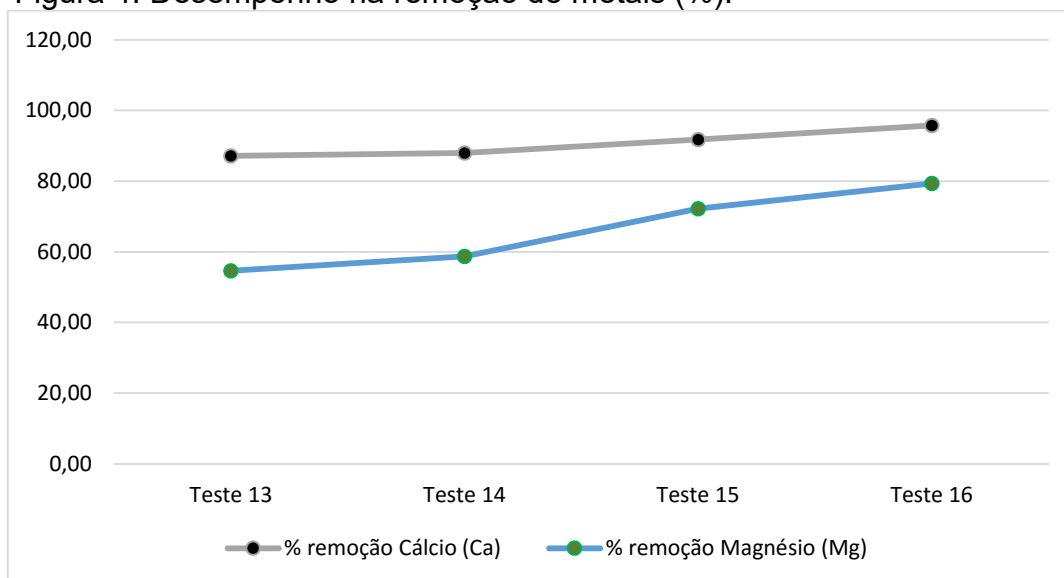
Avaliando as amostras com melhor desempenho (testes 13 a 16), os metais foram analisados, comparados com a análise inicial e apresentados na Tab. 4 e Fig. 4.

Tabela 4: Metas totais (mg/L) e desempenho na remoção de metais (%).

	Teste 13	Teste 14	Teste 15	Teste 16
Calcio (Ca) (mg/L)	76,46	71,64	48,86	25,21
Magnésio (Mg) (mg/L)	38,26	34,79	23,39	17,37
% remoção Cálcio (Ca)	87,15	87,96	91,79	95,76
% remoção Magnésio (Mg)	54,59	58,71	72,24	79,38

Fonte: Do autor (2019)

Figura 4: Desempenho na remoção de metais (%).



Fonte: Do autor (2019)

Através da análise da remoção de metais, pôde-se confirmar que, assim como na dureza total, houve um desempenho satisfatório na remoção de magnésio (Mg) e na remoção do cálcio (Ca) foi excelente.

Na diminuição do cálcio (Ca), a zeólita do tipo A comercial e sintetizada, obtiveram um desempenho semelhante, enquanto no tipo X, a sintetizada obteve um resultado melhor. No caso do magnésio (Mg), tanto as zeólita do tipo A quanto a do tipo X comerciais, obtiveram um melhor resultado. Todos os casos com pouca diferença, podendo também neste caso, significar uma possível saturação no desempenho da zeólita. Avaliando ainda as amostras que tiveram um melhor desempenho, tem-se os dados de pH analisados apresentados na Tab. 5.

Tabela 5: Resultados de pH.

	<b>Amostra bruta</b>	<b>Teste 13</b>	<b>Teste 14</b>	<b>Teste 15</b>	<b>Teste 16</b>
pH	10,1	7,91	8,38	7,82	8,37

Fonte: Do autor (2019)

Sutili et al. (2009), afirma que o estudo do pH é importante e o caráter dos cátions trocáveis e da zeólita são afetados pelo pH. Com um pH baixo, tem-se uma maior concentração de íons  $H^+$  livres. Quanto mais ácida a solução, maior será a competição entre os íons  $H^+$  e os metais a serem adsorvidos, dificultando a adsorção. A adsorção de Mg é favorável a pHs elevados (acima de 9), porém existe a possibilidade da eliminação de magnésio por precipitação na forma de hidróxido, já que esse metal precipita na faixa de pH de 8 a 12,5. Já o cálcio precipita a partir de um pH de 11.

A partir da Tab. 5, esse fato é confirmado, pois houve uma maior remoção de cálcio do que de magnésio. O pH que era inicialmente 10, diminuiu com a troca iônica.

Para definição de que o problema na reologia é a água do processo, foi feito um teste preliminar usando água deionizada para a lavagem de uma quantidade de frita e na moagem. Foi pesado uma fórmula padrão, em seguida levado à moagem por 15 minutos com 80mL de água da torneira. Em seguida, a mesma fórmula foi pesada e moída com água deionizada. A diferença do tempo de escoamento entre o padrão e o teste foi de 60 segundos sendo a frita moída com a água deionizada, a com o menor tempo de escoamento.

Após decidido que as amostras 13 a 16 tiveram um melhor desempenho na remoção da dureza total, estes testes foram utilizados para lavagem da frita para testes de viscosidade. Foram pesados 200 g de uma frita cerâmica e lavados com os efluentes tratados, totalizando 4 amostras. Foram submetidas à secagem por meio de uma estufa a 100 °C e em seguida foi pesado 180 g da frita com 20 g de caulim e levado à moagem por 15 minutos. Os testes foram realizados em três etapas: na primeira etapa (todas usando as amostras de frita cerâmica lavadas e devidamente secas) foi utilizado a água da torneira da Empresa, tanto no padrão quanto nos testes; na segunda etapa, foi utilizado água deionizada na moagem, no padrão e nos testes; e na terceira etapa foi utilizado no padrão água da torneira da Empresa e, nos testes

a água respectiva de cada teste. Na Tab. 6, tem-se os resultados de tempo de escoamento.

Tabela 6: Análises de reologia.

	Amostra	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	t (s)
Água da torneira	Padrão	1,758	81
	Teste 13	1,754	90
	Teste 14	1,754	104
	Teste 15	1,756	90
	Teste 16	1,758	92
Água deionizada	Padrão	1,765	108
	Teste 13	1,759	141
	Teste 14	1,758	145
	Teste 15	1,758	119
	Teste 16	1,763	187
Água da torneira	Padrão	1,720	65
	Teste 13	1,722	91
Água tratada	Teste 14	1,725	93
	Teste 15	1,720	90
	Teste 16	1,723	95

Fonte: Do autor (2019)

Analisando as amostras e as características reológicas, pode-se notar que o tratamento com a zeólita, por mais que seja eficiente na remoção da dureza total, ela acaba por não melhorar o tempo de escoamento da barbotina, possivelmente pela liberação de alumínio e/ou outros elementos. Segundo Ortega (1997), o alumínio tem uma difícil interação com a água, pois as moléculas se atraem mutuamente por possuir uma baixa energia de interação.

Rasteiro et al. (2005), afirma que como as fritas cerâmicas são o resultado da fusão de sais de compostos metálicos, como sódio, potássio, cádmio, bário, zinco, etc., portanto é normal que esses metais se transportem para a água, pois uma água com uma elevada carga iônica pode afetar a qualidade do esmalte e alterar a reologia do material em especial a viscosidade. Dos cátions metálicos indesejáveis estão o sódio (Na<sup>+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e zinco (Zn<sup>2+</sup>). Dentre estes, o Ca<sup>2+</sup> e o Zn<sup>2+</sup> são os cátions que mais causam influência e alteram o comportamento reológico da suspensão dos esmaltes cerâmicos.

Ainda falando sobre o que pode interferir na reologia do produto acabado Link, Bragança e Bergmann (2013), alegam que a medida que a razão  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  aumenta, há um aumento na viscosidade da barbotina.

Analisando os resultados obtidos por espectrofotômetro de fluorescência de raios-X, por energia dispersiva (FRX - EDXRF) na zeólita após o contato com o efluente, foi possível constatar que houve uma troca dos elementos presentes na água com o sódio (Na) e houve uma diminuição no total de alumínio (Al) da zeólita, sendo estes alguns dos agravantes que pioram a viscosidade do material.

Melo e Riella (2010) explicam que o PST – porcentagem de sódio trocado, pois são esses cátions que vão ser trocados para manter a neutralidade, serve para avaliar o quanto de sódio foi trocado na adsorção e é obtido através da Eq. (1):

$$PST = \frac{(C^{inicial} - C^{final})}{C^{inicial}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$C^{inicial}$  = Concentração de sódio antes da troca;

$C^{final}$  = Concentração de sódio depois da troca.

Os resultados foram obtidos em percentual e são apresentados na Tab. 7.

Tabela 7: Porcentagem de sódio trocado.

Zeólita	$C^{inicial}$ (%)	$C^{final}$ (%)	PST (%)
Aa	7,34	3,47	52,76
Ab	7,77	3,24	58,26
Xa	7,20	4,07	43,50
Xb	6,49	2,79	57,07

Fonte: Do autor (2019)

Visto que houve uma troca com o sódio (Na) e este cátion foi liberado para a água e, conforme literatura apresentada, é possível entender que a viscosidade do material foi afetada possivelmente pela presença do cátion metálico. Nos dois casos as zeólitas comerciais obtiveram um melhor desempenho na troca iônica e, entre os dois tipos de zeólita. Na estrutura da zeólita tipo A, conforme dados obtidos e conforme característica da zeólita, possui mais sódio na sua estrutura, portanto, essa zeólita tem mais chances de ter um PST maior que a zeólita do tipo X.

## 5 CONCLUSÕES

Após análises e testes, foi possível deduzir que o grande problema na água utilizada no forno de fusão de Empresa Novacolor Beneficiamento e Moagem Ltda., pode não ser apenas a dureza e seus elevados níveis de cálcio e magnésio. Tratando o efluente com zeólitas do tipo A e X, sintetizadas e comerciais, foi possível remover a dureza e metais totais em percentuais consideráveis, porém ao utilizar o efluente tratado em escala laboratorial, a viscosidade da moagem não se mostrou eficiente, inclusive aumentou o tempo de escoamento. Isso deu-se pela liberação de cátions metálicos como sódio (Na), que é trocado na adsorção quando utilizados zeólitas do tipo A e X. Por mais que a dureza tenha sido removida satisfatoriamente, o tratamento com aluminossilicato pode não ser uma estratégia viável, por conta da troca com o sódio, que acaba sendo difícil de remover quando liberado no efluente.

Até o momento nenhuma pesquisa do tipo foi realizada e, através da pesquisa é possível ter um comparativo entre as zeólitas A (LTA) e X (FAU) referente às suas capacidades de adsorção e troca iônica em tratamento de efluente industrial.

Como trabalhos futuros, é sugerido fazer um tratamento em escala semi-industrial e fazer fusão de frita com a água tratada com a zeólita; fazer um tratamento prévio da água para deixar o pH do efluente ácido para uma melhor eficiência na adsorção; retirar o sódio que foi liberado pela zeólita por meio de tratamento físico-químico; buscar alternativas de tratamento físico-químico do efluente; verificar a utilização da zeólita em um filtro e com a possibilidade de regeneração; e uma pesquisa de viabilidade econômica para cada caso, visando melhorias e economia para a Empresa.

## REFERÊNCIAS

ABCERAM. **Colorifícios**. 2018. Disponível em: <<https://abceram.org.br/colorificios-2/>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

ALVES, Fábila Rafaella Silva; BATISTA, Arielly Samara Santos; SILVE, Wedja Marcelino da Silva; SILVA, Denise Domingos da. **III Workshop Internacional sobre água no Semiárido Brasileiro**. ed. Realize. Campina Grande. v. 1. 2017. Disponível em:

<[http://www.editorarealize.com.br/revistas/aguanosemiarido/trabalhos/TRABALHO\\_EV079\\_MD1\\_SA8\\_ID262\\_14092017221050.pdf](http://www.editorarealize.com.br/revistas/aguanosemiarido/trabalhos/TRABALHO_EV079_MD1_SA8_ID262_14092017221050.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2018.  
BACCAN, Nivaldo; ANDRADE, João Carlos de; GODINHO, Oswaldo E. S.; BARONE, José Salvador. **Química analítica quantitativa elementar**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2001.

BAERLOCHER, Christian; MCCUSKER, Lynne B; OLSON, David H. **Atlas of zeolite framework type**. 6. ed. Elsevier Science, 2007. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/book/9780444530646/atlas-of-zeolite-framework-types#book-description>>. Acesso em: 07 out. 2018.

BERNARDINI, Luara Pires; JUNIOR, Salesio Sebastião de Oliveira Junior; MARQUES, Carolina Resmini Melo; MELO, Aline Resmini. Estudo de caso: O quanto a concentração de uma moagem interfere na reologia e no tamanho da partícula do produto acabado. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, v. 01, ed. 107, abr. 2017. Disponível em:  
<[https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/luara\\_e\\_salesio\\_-\\_revista.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/luara_e_salesio_-_revista.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2018.

HAGE, David S.; CARR, James D. **Química analítica e análise quantitativa**. 1. ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2012.

JUNIOR, Marsis Cabral; BOSCHI, Anselmo; FERREIRA, André Luiz Baradel; COELHO, José Mário. A indústria de coloríficos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas Futuras. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 13-18, jan./fev. 2010. Disponível em:  
<<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v15n1/v15n1a02.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

LALAU, Franciele Roldão; MELO, Aline Resmini; FELTRIN, Jucilene; FARACO, Morgana Nuemberg Sartor. Estudo da Influência da Dureza da Água Sobre a Deflocação e o Comportamento Reológico de uma Suspensão Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 20, n. 5-6, p. 25-34, set./dez. 2016. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v21n5-6/v21n5-6a03.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

LINK, Marcelo; BRAGANÇA, Saulo Roca; BERGMANN, Carlos Pérez. Influência da razão  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  do silicato de sódio na deflocação de suspensões aquosas empregadas na conformação por colagem de barbotinas. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 25-28, jan./fev. 2013. Disponível em:  
<<http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/ci/5876574f7f8c9d6e028b47d8/fulltext.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2019.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Águas & Águas**. 2. ed. Belo horizonte: CRQ-MG, 2004.

MARTINS, Geraldo Jorge Mayer. **Influência da dureza da água em suspensões de esmalte cerâmico**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 114 f., 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/80296>>. Acesso em: 15 set. 2018.

MELO, Carolina Resmini. **Síntese de zeólita tipo 5a a partir de caulim para adsorção de metais pesados de soluções aquosas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 79 f., 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92262>>. Acesso em: 07 out. 2018.

MELO, Carolina Resmini. **Síntese de zeólita tipo 4a a partir de resíduo proveniente do processo de polpamento de papel branco**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 123 f., 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/122577>>. Acesso em: 07 out. 2018.

MELO, Carolina Resmini; RIELLA, Humberto Gracher. Síntese de zeólita tipo NaA a partir de caulim para obtenção de zeólita 5A através de troca iônica. **Cerâmica**, São Paulo, v. 56, n. 340, p. 340-346, oct./dec. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v56n340/v56n340a05.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2019.

MOREIRA, Jarina Costa. **Síntese e caracterização da zeólita 5A por troca iônica a partir de um resíduo da indústria de papel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 79 f., 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/107205>>. Acesso em: 07 out. 2018.

ORTEGA, Fernando dos Santos; PANDOLFELLI, Victor Carlos; RODRIGUES, José de Anchieta; SEPULVEDA, P.A. Defloculação e propriedades reológicas de suspensões de alumina estabilizadas com dispersantes poliacrílicos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 2, n. 5-6, p. 34-37, set./dez. 1997. Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/ci/587656fe7f8c9d6e028b45f4/fulltext.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

PRACIDELLI, Sebastião. Estudo dos Esmaltes Cerâmicos e Engobes. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 13, n. 1-2, p. 08-20, jan./abr. 2008. Disponível em:

<<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v13n01/v13n1a01.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

RASTEIRO, Maria Graça; FERREIRA, Licínio Manuel; GONÇALVES, António; JORGE, Albano. Reutilização de águas processuais na preparação de esmaltes cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 24-31, maio/jun. 2005. Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/ci/587657247f8c9d6e028b46d2/fulltext.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2019.

ROCHA, R. R.; ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T. Estudo do comportamento reológico de barbotinas preparadas com argilas da Formação Corumbataí utilizadas no pólo cerâmico de Santa Gertrudes (SP). **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 331, p. 332-337, jul./set. 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132008000300010&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132008000300010&script=sci_abstract&lng=pt)>. Acesso em: 01 set. 2018.

SÁNCHEZ, E. Matérias-Primas para a Fabricação de Fritas e Esmaltes Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 2, n. 3-4, p. 32-40, mai./ago. 1997. Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/ci/587656fd7f8c9d6e028b45ed/fulltext.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

SCHARAMM, Gebhard. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

SENA, Rafael dos Santos Fernandes. **Estudo da síntese de zeólitas tipo A, X e Sodalita empregando reatores vítreo**: Análise dos métodos dinâmico e estático de síntese a partir de caulim residual da Região Amazônica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Pará, Belém, 119 f., 2013. Disponível em: <[http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/5662/1/Dissertacao\\_EstudoSinteseZeolitas.pdf](http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/5662/1/Dissertacao_EstudoSinteseZeolitas.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

SILVA, S. A.; MINEIRO, S. L.; NONO, M. C. A.; OLIVEIRA, R. M. Caracterização da viscosidade da suspensão cerâmica zro<sub>2</sub>-tio<sub>2</sub> estabilizada com defloculante ácido para-aminobenzoico para obtenção de filmes de cerâmicas porosas. 60<sup>o</sup> CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. **Anais**. São Paulo: 2016, p. 2371-2380. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/60cbc/anais/PDF/17-029TT.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2018.

SKOOG, Douglas A; WEST, Donald M; HOLLER, F. James; CROUCH, Stanley R. **Fundamentos de química analítica**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

SUTILI, Felipe Korbus; MIOTTO, Naiara; RIGOTI, Eduardo; PERGHER, Sibebe Berenice Castellã; PENHA, Fábio Garcia. Aplicação de zeólitas sintéticas como coadjuvante em formulação detergente. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 879-883, mar. 2009. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n4/v32n4a10.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

TORRES, A.; BOIX, A.; CHILLARÓN, F. PEIRÓ, S.; GARGON, J.; JOVANI, M. A. Estudo Reológico e do Processo de Aplicação de Camadas Espessuradas de Esmalte através da Técnica de Incavografia. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 13-18, mai./jun. 2004. Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/ci/587657237f8c9d6e028b46d0/fulltext.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2018.

TROVATI, Joubert. **Tratamento de água de resfriamento**. Curso Online Tratamento de água, Araraquara. Set. 2004. Disponível em: <[http://www.snatural.com.br/PDF\\_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf](http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2018.

VACLAVIK, Fernanda Daiane. **Avaliação e otimização do uso de zeólitas no tratamento terciário de efluentes líquidos industriais**. Dissertação (Graduação em Química Industrial). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 71 f., 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28611/000769947.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 maio 2019.

VICENTE, João Guilherme Pereira; LIMA, Patrícia Moreira; CARDOSO, Dilson. Propriedades e avaliação catalítica da zeólita x nanométrica contendo cátions metilamônio. **Química Nova**, São Paulo, v. 39, n. 6, p. 655-660, mai. 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422016000600655&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422016000600655&script=sci_abstract&lng=pt)>. Acesso em: 28 set. 2018.

ZANATA, Luiz Otávio da Soller; NANDI, Vitor de Souza. Estudo da Utilização de Resíduo Sólido Proveniente do Processo de Fabricação de Fritas para a Produção de Esmaltes Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 18-23, jan./fev. 2014. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v19n1/v19n1a03.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2018.