

## **ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DO TRATAMENTO DA ÁGUA DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE FRITAS CERÂMICAS**

**Luca Cúnico Virtuoso<sup>1</sup>**

**Débora De Pellegrin Campos<sup>2</sup>**

**Resumo:** Este estudo revela descobertas intrigantes sobre o tratamento da água utilizando inibidores no processo de resfriamento de colorifícios para a produção de fritas cerâmicas. Ao investigar resistência química, propriedades ópticas e reológicas, identificou-se condições vantajosas em várias frentes. Os revestimentos derivados das fritas tratadas mantiveram características cruciais para a produção industrial, como resistência a agentes químicos críticos, propriedades estéticas e reológicas ideais, bem como níveis de absorção necessários. Essa análise contribui significativamente para o conhecimento prático, proporcionando insights valiosos para otimizar a produção de revestimentos cerâmicos de maneira eficiente. Demonstrando que o tratamento do sistema de resfriamento em colorifícios é uma alternativa válida, preservando a qualidade operacional sem comprometer as propriedades essenciais do produto final.

**Palavras-Chave:** Tratamento, Inibidores, Fritas Cerâmicas.

### **1 INTRODUÇÃO**

O mercado cerâmico é um dos principais influenciadores da economia nacional. Com o avanço industrial e investimentos no setor, os processos foram otimizados, estabelecendo padrões de qualidade para todos os participantes (KILLER; ROTTA, 2019). Segundo a ANFACER, o Brasil é um dos grandes "*players*" no mercado mundial de cerâmica, ocupando a terceira posição em produção e a segunda posição em consumo, além de ser o sétimo nas exportações.

No ramo de colorifícios, responsáveis pela confecção de produtos para formação de camadas vítreas em revestimentos cerâmicos, diferentes constituições químicas são utilizadas para criar ambientes distintos. A principal matéria-prima é a frita cerâmica, um composto vítreo produzido pela fusão de materiais cristalinos em altas temperaturas, seguida por um resfriamento rápido em contato com água (SANCHES, 1997).

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Química, ano:2023. E-mail: lucacvirtuoso@gmail.com

<sup>2</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: debora.campos@satc.edu.br

A água utilizada no resfriamento da frita é essencial para a formação do produto final e muitas empresas usam torres de resfriamento para reutilizá-la. Nesse processo, a evaporação de uma pequena quantidade de água permite a transferência de calor para o ar, possibilitando seu reuso no resfriamento. Assim, o tratamento dessa água se torna indispensável, podendo até diminuir os gastos com recorrentes manutenções. Na maioria dos casos, utilizam-se soluções denominadas como “inibidores” para realização desse tipo de tratamento (PEREIRA, 2018).

No entanto, a indústria de coloríficos possui uma particularidade em relação aos demais: os inibidores entram em contato direto com a frita (SILVA, 2021).

Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar como as características da água tratada com inibidores no sistema de resfriamento de um colorífico podem influenciar o produto final. Serão realizados ensaios de caracterização física e química para analisar as condições do material resultante.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esta seção será dedicada à exposição do referencial teórico utilizado para realização do estudo proposto, aprofundando-se na operação e manutenção de uma torre de resfriamento e relacionando-a com a metodologia de trabalho aplicada na indústria de coloríficos.

### **2.1 INDÚSTRIAS DE COLORIFÍCIOS**

Responsáveis pelo fornecimento de insumos e serviços essenciais para a sustentação do mercado cerâmico, as empresas de coloríficos trazem criatividade e complexidade na produção de fritas para a construção civil. (ABCERAM, 2022; HERAS, 2002).

### **2.2 FRITAS CERÂMICAS**

As fritas cerâmicas são insumos vítreos primordiais nas composições dos variados revestimentos cerâmicos encontrados no mercado. É a partir delas que se torna possível insolubilizar e mesclar características de diferentes matérias-primas com altas concentrações de óxidos (BARREDA, 2005), responsáveis por toda a

complexidade e abrangência química apresentada pelas fritas (MELCHIADES et al., 2009).

Delimita-se essa gama de produtos em três grupos: de caráter mate, transparente e branco (ROMERO et al., 2018), conforme o Qd. 1:

Quadro 1: Tipologia de Fritas Cerâmicas.

Tipologia e elemento	Característica
Transparentes, Sílica	Elevado nível de brilho, sendo que estas geralmente passam por processos de polimento. (HOTZA; OLIVEIRA, 2011).
Brancas, Zircônio/Dióxido de Titânio	Aspecto opaco após o processo de sinterização. São geralmente utilizadas em engobes cerâmicos com o intuito de mascarar a cor do biscoito (COELHO, 2014).
Mates, Zinco	Matização de superfícies. A presença do zinco faz com que ocorra uma melhora nas características mecânicas do revestimento, porém aumenta a sua reatividade quando em contato com substâncias ácidas, o que pode causar a aparição de manchas (HOTZA; OLIVEIRA, 2011).

Fonte: Do autor (2023)

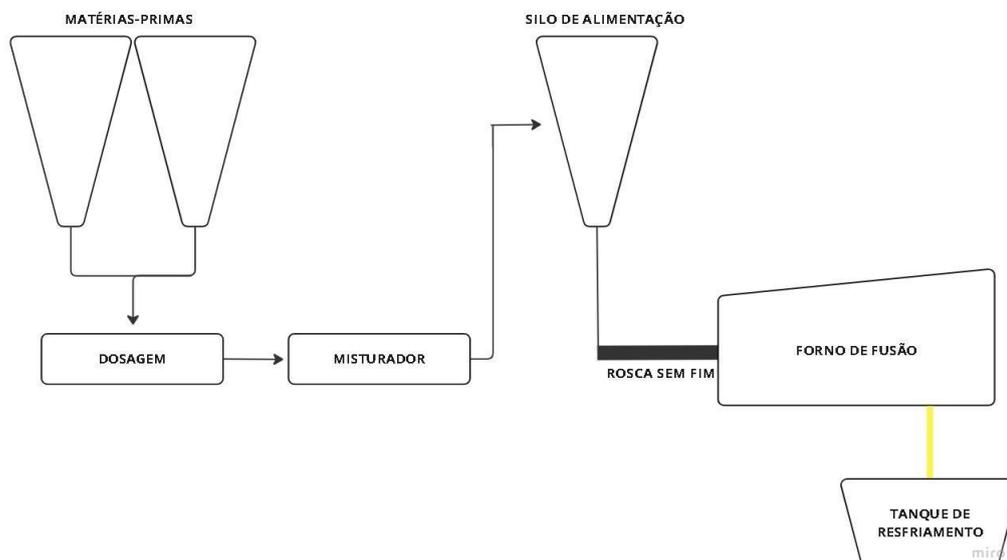
Fritas e matérias-primas naturais, como feldspato, quartzo e caulim, são usadas na produção de revestimentos cerâmicos conhecidos como compostos. Essa mistura cria revestimentos versáteis e comercialmente atrativos (JUNIOR et al., 2010).

### 2.2.1 Processo de fabricação

No processo de fabricação das fritas cerâmicas, as matérias-primas são selecionadas, dosadas e introduzidas em um misturador, sendo posteriormente transferidas para um silo intermediário e inseridas no forno por meio de uma rosca sem fim (DIAZ, 2019). A alta temperatura no interior do forno promove a fusão dos componentes, resultando em um estado vítreo inicial e permitindo a fusão de componentes refratários através da difusão iônica intensificada (BRICEÑO; MERMA, 2014). A massa fundida é despejada em um tanque com água, passando por um resfriamento brusco que vitrifica o material, fragmentando-o em pequenos pedaços. A extração da frita é realizada com o auxílio de uma rosca sem fim (TAMAYO; RUBIO,

2013). O processo de fabricação das fritas cerâmicas pode ser descrito pela Fig. 1.

Figura 1: Processo de fabricação das Fritas Cerâmicas.



Fonte: Do autor (2023)

## 2.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Devido a abrangência da aplicação de produtos cerâmicos no mercado atual, torna-se necessário a realização de ensaios que permitem avaliar o desempenho dos revestimentos.

### 2.3.1 Ataque Químico

A aplicação do revestimento cerâmico no mercado atual necessita que este passe por ensaios de resistência química, uma vez que no cotidiano estão submetidos a exposição com diferentes soluções ácidas ou alcalinas, como por exemplo produtos utilizados para limpeza de ambientes (MACHADO, 2019).

### 2.3.2 Brilho, opacidade, cor e textura

As propriedades ópticas dos produtos cerâmicos, como opacidade, cor e brilho, desempenham um papel fundamental em sua qualidade final (PRACIDELLI, 2008). A opacidade está relacionada à capacidade de cobertura do esmalte, enquanto o brilho

pode ser quantificado por meio de um brilhaômetro (SERPA, 2007). A textura, que é avaliada visual e tátilmente, desempenha um papel importante na classificação de esmaltes mates. Para avaliar o desenvolvimento de cor, utiliza-se um espectrofotômetro que analisa os desvios nas coordenadas cromáticas do sistema Lab\*, também conhecido como CIELAB (COELHO, 2014).

### **2.3.3 Indicadores de porosidade**

A porosidade é uma característica que pode afetar diversas propriedades de um revestimento cerâmico, como a resistência mecânica, a durabilidade e a estabilidade térmica. Um grau de absorção controlado e bem distribuído pode melhorar a aderência do revestimento à superfície do substrato, permitindo a difusão de gases e líquidos, o que garante qualidade e o desempenho desses materiais em diferentes aplicações (FONSECA et al., 2016).

### **2.3.4 Propriedades Reológicas**

A reologia é o estudo do comportamento de fluxo e deformação produzidos a partir de materiais em diferentes condições de forças externas. Muitos materiais cerâmicos são suspensões coloidais, ou seja, misturas de partículas sólidas dispersas em um meio líquido. Esse controle possibilita a obtenção de peças com variações dimensionais homogêneas e com menores defeitos estruturais (SETZ et al., 2011).

## **2.4 TORRES DE RESFRIAMENTO**

Uma torre de refrigeração é um dispositivo de remoção de calor usado para transferir calor residual de um processo para a atmosfera. As torres de resfriamento podem utilizar a evaporação da água para remover o calor de processo e resfriar o fluido de trabalho para perto da temperatura de bulbo úmido ou utilizar somente ar para resfriar o fluido de trabalho para perto da temperatura de bulbo seco (SILVA, 2021).

### **2.4.1 Torres de sistema semiaberto com recirculação da água**

Esses sistemas de resfriamento caracterizam-se por uma alta vazão e são comumente utilizados em processos que exigem disponibilidade limitada de água, garantido o fornecimento seguro de água fria em circuitos semiabertos, permitindo um tratamento eficaz e econômico da água (ELKIND, 2002). Isso possibilita o uso de materiais mais baratos e menos resistentes à corrosão, como o aço carbono (MACHADO, 2005). A redução de temperatura da água ocorre principalmente devido à evaporação da corrente circulante (CORTINOVIS; SONG, 2005). A transferência de massa da água para o ar por meio da evaporação é responsável por cerca de 80% do resfriamento, enquanto a transferência de calor sensível por convecção contribui aproximadamente com 20% do calor transferido (TROVATI, 2004).

### **2.4.2 Manutenção do equipamento**

A água circulante nas torres de resfriamento requer tratamento químico para evitar problemas como incrustações, corrosão e crescimento de microrganismos (OIKAWA, 2012). Além disso, o controle do pH, o uso de inibidores de corrosão, biocidas e aditivos para evitar a precipitação de carbonato de cálcio, juntamente com a filtração parcial, são necessários no tratamento da água de resfriamento em torres com circuito semiaberto e recirculação (THULUKKANAM, 2013).

A evaporação da água na torre de resfriamento resulta na concentração de substâncias dissolvidas, levando à formação de incrustações que obstruem as colmeias da torre e aumentam a corrosão (TROVATI, 2004). Além disso, o crescimento biológico descontrolado, como o das bactérias sulfato-redutoras, pode levar à formação de biofilmes e contribuir para a corrosão e deterioração do sistema de resfriamento (MACHADO, 2005; PAULA, 2010).

### **2.4.3 Tratamento da água de circulação**

Os inibidores são produtos químicos adicionados à água de resfriamento para controlar a corrosão e o acúmulo de depósitos que ajudam a prolongar a vida útil e manter a eficiência do equipamento. Eles são selecionados com base nas características da água e do ambiente que serão empregados e criam uma camada

protetora na superfície metálica, formando complexos solúveis com íons metálicos e inibindo reações químicas que levam a corrosão (SILVA, 2015). No Qd. 2, observa-se os principais tipos de inibidores adotados e suas respectivas utilizações.

Quadro 2: Tipologia de Inibidores empregados.

Inibidor	Produto	Característica
Incrustação	Dispersantes	Criação de uma barreira que cessa a aglomeração e age como uma “almofada elástica” que evita com que as partículas grudem entre si quando se aproximam uma da outra (RAMOS, 2022).
Corrosão	Polifosfatos e fosfonatos	Impedimento ou diminuição nas reações de óxido-redução que caracterizam os processos corrosivos. (TROVATI, 2004).
Crescimento Microbiológico	Biocidas oxidantes	Oxidação da matéria orgânica presente nos seres vivos, destruindo suas estruturas vitais e, conseqüentemente, levando a morte (PERES et al., 2008).

Fonte: Do autor (2023)

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os procedimentos experimentais deste estudo foram planejados e executados no laboratório de pesquisa e desenvolvimento de uma proeminente indústria de coloríficos regional. A escolha desse local proporcionou uma integração mais próxima com a prática industrial, assegurando uma abordagem alinhada com a realidade enfrentada pelo setor. Seguiu-se metodologia interna da referida indústria, garantindo assim fidelidade aos padrões e processos estabelecidos, consolidando a confiabilidade e a relevância dos resultados obtidos.

A Fig. 2, apresentada a seguir, esboça visualmente as distintas fases do experimento, destacando a complexidade e a interconexão das etapas envolvidas. Desde a formulação e homogeneização das fritas cerâmicas até a aplicação e caracterização dos revestimentos finais, cada passo foi estrategicamente planejado para refletir as condições reais de produção. Essa abordagem integrada não apenas reforça a validade dos resultados obtidos, mas também estabelece uma base sólida para contribuições práticas e tangíveis ao setor cerâmico.

Figura 2: Procedimento experimental adotado neste estudo.



Fonte: Do Autor (2023)

### 3.1 PREPARAÇÃO DAS FRITAS

A etapa de preparação das fritas engloba todos os processos necessários para a obtenção dos vidrados em escala laboratorial.

#### 3.1.1 Formulação e Homogeneização

As tipologias de fritas submetidas aos ensaios foram separadas por composição de fritas mate, branca e transparente em uma proporção de 500 gramas para inserção no forno de fusão. As formulações utilizadas para confecção dos vidrados foram elaboradas pela equipe técnica da empresa de coloríficos em que se realizou o estudo.

Após, as amostras foram homogeneizadas individualmente de maneira manual durante 5 minutos, criando uma mistura uniforme. Por fim as fórmulas obtidas foram transferidas para um cadinho de cerâmica refratária e encaminhado para a etapa de fusão em forno.

### 3.1.2 Preparo das soluções com Inibidores

Nesta etapa, foram preparadas soluções com inibidores a 1% para tratar água de resfriamento. Utilizou-se os inibidores Gengard GN8020 e Spectrus NX1106. O GN8020 é um inibidor de corrosão à base de fosfatos inorgânicos, projetado para prevenir incrustações e depósitos em sistemas de recirculação aberta de água de resfriamento. Sua composição inclui polímero de ácido carboxílico e ácidomaléico. O NX1106 é uma mistura antimicrobiana formulada especificamente para aplicações de água de resfriamento. É eficaz no controle de bactérias aeróbicas, bactérias anaeróbicas, algas, leveduras e fungos. Sua composição inclui nitrato de magnésio, 5-cloro-2-metil-4-isotiazolin-3-ona e 2-metil-4-isotiazolin-3-ona na proporção de 3:1.

A dosagem ideal para garantir a eficiência desse processo na indústria de coloríficos é de 50 ppm para o inibidor anti-incrustante e 55 ppm para o agente biocida. Considerando a relação entre mL e ppm fornecida, seriam necessários 5 mL e 5,5 mL por litro de água, respectivamente. Para um volume de água de resfriamento de 10,3 litros (capacidade do recipiente utilizado para os testes), foi necessário adicionar 51,5 mL da solução 1% de GN8020 e 56,65 mL da solução 1% de NX1106. A Fig. 3 exibe as soluções de inibidores preparadas para inserção no processo de fusão.

Figura 3: Soluções de Inibidores.



Fonte: Do Autor (2023)

### 3.1.3 Fusão e Resfriamento

Nesta etapa, o processo de fusão industrial em batelada foi simulado em escala

laboratorial em um forno de cadinho (modelo 1116E2 da marca Clasic CZ s.r.o), na temperatura de 1540°C, variando os períodos de tempo conforme exigido por cada tipologia de frita, sendo 40 minutos nesta temperatura para a frita transparente e 20 minutos para a mate e a branca. A Fig. 4 ilustra a obtenção dos vidrados previamente descrita.

Na fase de resfriamento, definem-se duas condições de operação:

- Condição padrão: resfriamento da mistura incandescente na água de resfriamento retirada da torre, possibilitando a obtenção de um produto similar ao obtido industrialmente.
- Condição inibidores: com a adição das soluções descritas de inibidor.

Figura 4: Processo de fusão.



Fonte: Do Autor (2023)

### 3.1.4 Secagem

Com objetivo de remover a umidade elevada provocada pelo banho térmico no processo de resfriamento, as fritas passaram por processo de secagem em uma estufa (modelo 515 marca Fanem), com uma temperatura de 100 °C durante o período de 1 hora.

## 3.2 PREPARAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Na etapa de preparação dos revestimentos, as fritas cerâmicas obtidas foram aplicadas em três placas cerâmicas por meio de um procedimento minucioso. A formulação de três compostos distintos (esmalte mate, cobertura transparente e

engobe) prosseguiu pela moagem úmida, ajuste de densidade e aplicação nos suportes cerâmicos. Esses compostos foram, então, submetidos a uma queima controlada em forno industrial. Em seguida, destinou-se os produtos obtidos para as suas respectivas análises de caracterização, baseadas na metodologia adotada anteriormente.

### 3.2.1 Formulação dos compostos

O estudo comparativo envolveu o uso de três compostos: um esmalte mate, uma cobertura transparente e um engobe, nos quais foram utilizadas fritas resfriadas com e sem a presença de inibidores, conforme Tab. 1. A formulação das amostras "padrão" e "teste" para cada composto foi desenvolvida pela equipe técnica da empresa de coloríficos, garantindo a consistência das matérias-primas utilizadas e as variações apenas nas fritas e nos processos de resfriamento. Isso permite uma análise precisa do efeito dos inibidores nos resultados obtidos.

Tabela 1: Formulações dos compostos selecionados.

Matérias Primas	Percentual de Matérias-Primas para cada Tipologia		
	Cobertura		
	Esmalte Mate	Transparente	Engobe
Frita Mate	17,70	-	-
Frita Transparente	-	71,55	-
Frita Branca	-	-	34,04
Matérias Primas	81,60	27,48	65,50
Aditivos	0,70	0,97	0,46

Fonte: Do Autor (2023)

Após a pesagem dos compostos, eles foram submetidos à moagem úmida em um moinho de jarros com esferas de alumina (modelo Th-1000 marca Thermoceram), adicionando-se 35% de massa de água. O tempo de moagem foi determinado de acordo com a faixa de resíduo desejada para cada aplicação.

Para garantir a precisão dos resultados, a densidade de cada esmalte foi ajustada utilizando um Picnômetro Servitech de 100 mL. A aferição e o ajuste da

densidade foram realizados para igualar os valores dos testes aos seus respectivos padrões, evitando desvios nos resultados. A densidade foi calculada subtraindo-se a massa do recipiente vazio da massa do picnômetro contendo o vidro.

### 3.2.2 Análises de Caracterização

Nesta seção, foram conduzidos processos de caracterização para analisar a influência do tratamento da água de resfriamento no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos e suas propriedades, conforme mostrado no Qd. 3.

Quadro 3: Análises de caracterização.

Tipologia e Composto utilizado	Análises Realizadas
Composto Mate	Ataque Químico, Brilho, Opacidade, Cor, Textura e Reologia.
Cobertura Transparente	Brilho, Opacidade, Cor, Textura e Reologia.
Engobe	Brilho, Opacidade, Cor, Textura, Porosidade e Reologia.

Fonte: Do Autor (2023)

#### 3.2.2.1 Ataque Químico

Para realização do teste de resistência ao ataque químico, utilizou-se as definições fornecidas pela ABNT NBR ISSO 10545-13, em conjunto com as informações e reagentes disponíveis com base na metodologia empregada pelo colorífico onde realizou-se o estudo. As especificações utilizadas são exibidas na Tab. 2.

Tabela 2: Reagentes utilizados para análise de resistência química.

Reagente Químico Utilizado	Concentração	Tempo de exposição sobre o esmalte (Horas)
Ácido Clorídrico (HCl)	18%	96
Ácido Cítrico (C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	100 g/L	24
Ácido Lático (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> )	5%	96

Fonte: Do Autor (2023)

### 3.2.2.2 Aplicação no suporte cerâmico

Para possibilitar a análise sensorial dos esmaltes processados, exibe-se as características de aplicação e queima necessárias para cada tipologia, conforme a Tab. 3:

Tabela 3: Características das aplicações no suporte cerâmico.

<b>Composto Utilizado</b>	<b>Placa Cerâmica Utilizada</b>	<b>Equipamento de aplicação</b>	<b>Temperatura de Queima (°C)</b>	<b>Ciclo de Queima (Hora)</b>
<b>Mate</b>	Porcelanato	Binil com	1195	1
	Engobado	abertura 0.4		
<b>Cobertura Transparente</b>	Porcelanato	Binil com	1195	1
	Engobado	abertura 0.4		
<b>Engobe</b>	Monoporosa sem	Binil com	1135	1
	Engobe	abertura 0.2		

Fonte: Do autor (2023)

Seguindo a metodologia do colorífico onde realizou-se o estudo, aplicou-se o esmalte com a condição padrão (denominada como Pr) ao lado esquerdo do binil, enquanto no compartimento direito, inseriu-se o esmalte com a condição Inibidores (denominada como Inibidor).

Antes de passarem pela queima, as peças com os compostos aplicados foram submetidas à impressão de faixas colorimétricas nas cores pretas, amarelas, magenta e azul por uma impressora a jato de tinta digital. Esse processo permite a comparação do desenvolvimento de cor entre as condições estudadas.

Após a sinterização, as peças foram avaliadas quanto a opacidade, brilho, cor e textura. O brilho foi medido com um brilhômetro, a cor foi analisada por meio de um espectrofotômetro, a opacidade foi avaliada visualmente pelo potencial de cobertura e a textura pela percepção tátil.

### 3.2.2.3 Porosidade

A peça de monoporosa com o engobe foi coletada após a queima no forno

industrial a rolo. Duas metodologias de análise de porosidade foram utilizadas:

Análise com solução azul de metileno: uma solução azul de metileno foi aplicada superficialmente na peça usando uma esponja. O excesso de solução foi removido por lavagem com água. A peça foi seca em uma estufa a 100°C por 1 hora. A quantidade de indicador absorvida pelos poros do engobe foi avaliada visualmente, observando-se a intensidade do tom azulado provocado pela solução.

Análise de absorção com água: um recipiente plástico foi preenchido completamente com água e a peça cerâmica foi colocada sobre ele, com a face oposta ao engobe em contato com a água. A água foi absorvida pela porosidade da peça, resultando em um aspecto acinzentado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização das etapas propostas durante o procedimento experimental, tornou-se possível analisar os resultados obtidos, bem como avaliar a interferência da utilização dos inibidores no processo de formação da frita cerâmica.

### 4.1 ANÁLISES SENSORIAIS

Após submetidos ao processo de queima no forno industrial a rolo, avaliou-se os aspectos sensoriais dos esmaltes, ou seja, as impressões táteis e visuais apresentadas após o processo de sinterização. As cerâmicas são exibidas pela Fig. 5.

Figura 5: Peças cerâmicas analisadas.



Fonte: Do Autor (2023)

#### 4.1.1 Brilho

Na indústria cerâmica, classifica-se o brilho de um revestimento em razão da capacidade de reflexão que este apresenta. Quanto maior for a luz refletida em relação a incidente, mais brilhante será o vidrado (FERNANDES; PAULIN FILHO; MORELLI, 2011). Avaliações quantitativas relacionadas a este parâmetro podem ser realizadas através de um equipamento de precisão chamado brilhômetro.

Os resultados obtidos em unidades de brilho (U.B.), determinados a partir das medições realizadas sobre peças que continham as aplicações dos esmaltes e do engobe previamente preparados são exibidos na Tab. 4.

Tabela 4: Resultados das medidas do brilhômetro.

Revestimento Cerâmico	Unidades de Brilho	
	Condição Padrão	Condição Inibidores
Engobe	2,2	2,4
Esmalte Mate	3,6	3,5
Cobertura Transparente	85,2	86,3

Fonte: Do Autor (2023)

A normativa ISO 10545-7 descreve métodos de medição do brilho em esmaltes cerâmicos porém não especifica um limite máximo permitido em U.B, fazendo com que empresas responsáveis pela confecção de revestimentos estabeleçam seus próprios critérios de aceitação com base nas necessidades de cada projeto.

Utilizou-se a metodologia de liberação aplicada pela indústria de colorifícios onde realizaram-se as análises, que estabelece a aceitação de diferenças inferiores à duas unidades de brilho (U.B). Pode-se concluir então que a adição dos inibidores ao processo não alterou a capacidade reflectiva dos esmaltes em todas as tipologias estudadas, onde ambas as condições propostas apresentaram alta similaridade.

#### 4.1.2 Opacidade e Textura

Conforme citado anteriormente, a opacidade dos revestimentos preparados foi avaliada pelo potencial de cobertura que estes apresentaram após o processo de queima e a textura pela percepção tátil. Observando a Fig. 5 e realizando o

comparativo entre as duas condições estudadas, não foram observadas notáveis alterações nesses dois parâmetros em todas as tipologias analisadas, onde ambas mostraram similaridade.

#### 4.1.3 Cor

Utilizou-se duas metodologias diferentes para determinação da performance colorimétrica do engobe, esmalte mate e cobertura transparente preparados. Depois das cerâmicas passarem pela queima, avaliou-se visualmente o desenvolvimento de cor com base na sinterização das tintas digitais aplicadas sobre as mesmas, comparando o grau de saturação das cores preta, amarela, magenta e azul.

Também foram utilizados os valores lidos pelo espectrofotômetro calibrado para o sistema CIELAB, sendo eles,  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  e  $\Delta E$  de cada comparação. Segundo Pereira (2018), o  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ , são as coordenadas cromáticas e o  $\Delta E$ , é a diferença entre as duas escalas de cores primárias, calculada através da Eq. 1.

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

A determinação de um resultado válido se caracteriza pela detecção de uma diferença total de cor ( $\Delta E$ ) menor do que 1, considerando assim uma condição onde o revestimento cerâmico não apresenta diferença significativa de cor em relação à amostra padrão (PEREIRA, 2018).

Realizou-se as medidas em triplicata a fim de adquirir um resultado preciso, obtendo resultados médios gerados pelo equipamento. A Tab. 5 apresenta os dados respectivos às leituras realizadas.

Tabela 5: Coordenadas cromáticas lidas pelo espectrofotômetro.

<b>Coordenadas</b>			
<b>Cromáticas</b>	<b>Engobe</b>	<b>Esmalte Mate</b>	<b>Cober. Transparente</b>
$\Delta E$	0,200	0,088	0,163
$\Delta L$	-0,119	0,071	0,134
$\Delta a$	-0,008	0,037	-0,039
$\Delta b$	0,021	-0,036	0,085

Fonte: Do Autor (2023)

Por meio dos resultados, pode-se observar que em nenhum dos casos estudados obteve-se um valor de  $\Delta E$  superior a 1, portanto, nesta metodologia de análise os revestimentos cerâmicos produzidos com a presença do tratamento do sistema de resfriamento estariam classificados como válidos.

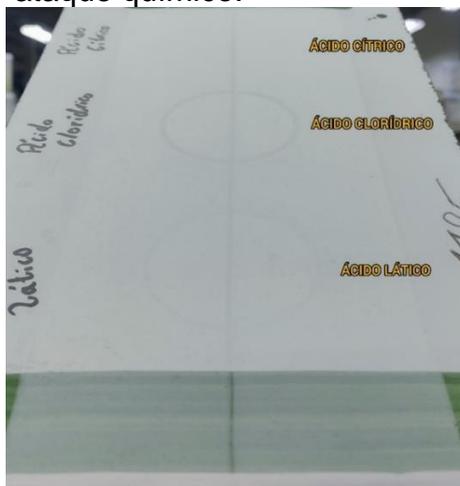
Avaliando o desenvolvimento das cores aplicadas digitalmente sobre os esmaltes (considerando as cerâmicas exibidas na Fig. 3), constatou-se uma notável similaridade, observando que a saturação das tintas não foi afetada pela presença dos inibidores no processo produtivo.

Pereira (2018) afirma que a facilidade de um vidro desenvolver determinada cor é altamente dependente da sua composição química e não das condições de processo em que o material é fabricado. Essa constatação foi comprovada a partir dos resultados previamente obtidos, não indicando interferência do tratamento no desenvolvimento do produto final.

## 4.2 ATAQUE QUÍMICO

Depois de submetido à resistência química, avaliou-se visualmente o revestimento cerâmico mate, verificando possíveis mudanças de aspecto causadas pelo ensaio, como alterações na coloração, textura e brilho. A Fig. 6 exibe os resultados obtidos após o período de exposição aos reagentes químicos utilizados.

Figura 6: Revestimento Mate após ataque químico.



Fonte: Do Autor (2023)



Depois de analisado, tornou-se possível identificar uma mudança no aspecto na superfície do revestimento cerâmico nas posições onde foram aplicados os ácidos clorídrico e láctico. Quando exposto ao ácido cítrico, o esmalte não apresentou degradação.

Observou-se que tanto a condição padrão (aplicada à esquerda do binil), quanto a condição inibidor (aplicada à direita do binil) apresentou interferência dos reagentes químicos citados anteriormente. Por conta disso, a ausência de uma deterioração localizada determina o esmalte produzido a partir do processo com inclusão do tratamento da água de resfriamento como apto.

O tempo de exposição em que os ácidos utilizados foram expostos sobre o revestimento cerâmico foi um parâmetro decisivo para definição da resistência química, visto que os ácidos cítrico e láctico são orgânicos e considerados igualmente fracos. Quando submetido à presença de um ácido inorgânico forte durante um longo período de tempo a degradação tornou-se cada vez mais evidente.

O ataque químico de revestimentos cerâmicos pode ocorrer devido à reação entre os componentes do material e presença de substâncias químicas específicas. A alcalinidade é parâmetro que pode interferir nesse tipo de resistência, no momento em que estão presentes no esmalte elementos alcalis, como o sódio. Por serem bases, quando expostas em contato com ácidos, essas substâncias proporcionam ocorrências de reações ácido-base, o que evidencia a mudança de aspecto observada (MELCHIADES, 2006).

#### 4.3 ANÁLISES REOLÓGICAS

O tempo de viscosidade é um parâmetro reológico que está relacionado com a capacidade dos materiais de fluir em determinado meio. Se o tempo de viscosidade for muito curto a suspensão pode não apresentar a capacidade de moldagem adequada e, caso contrário, a suspensão pode apresentar problemas de sedimentação e dificuldades na conformação. (SETZ, et al., 2011).

A tixotropia é uma propriedade reológica de materiais que descreve a capacidade de um material em diminuir sua viscosidade com o tempo quando submetido a uma agitação ou corte. Quando em agitação, o material se torna mais fluido, recuperando sua viscosidade original quando essa tensão é interrompida. Essa condição pode apresentar alguns desafios, sendo o principal deles a variação da

viscosidade ao longo do tempo, o que afeta diretamente a qualidade do produto final (LIMA, 2021).

Para medição do tempo de viscosidade e caracterização das condições reológicas de um esmalte cerâmico, utiliza-se um equipamento chamado copo Ford, onde o líquido é despejado até atingir uma marcação determinada. Com auxílio de um cronômetro, registra-se o tempo necessário para que a amostra esorra pelo orifício do copo, mantendo-a sobre uma temperatura pré-definida (FRANCO, 2006).

As medições dos períodos de escoamento obtidos para os esmaltes preparados são exibidas na Tab. 6, assim como a verificação de um comportamento tixotrópico.

Tabela 6: Resultados das análises reológicas.

Tempo de escoamento (Segundos)	Engobe		Esmalte Mate		Cobertura Transparente	
	Padrão	Inibidor	Padrão	Inibidor	Padrão	Inibidor
	Descarga	60	57	49	51	51
24h após descarga	70	65	50	55	66	68
<b>Densidade (g/mL)</b>	<b>1,81</b>		<b>1,85</b>		<b>1,82</b>	

Fonte: Do Autor (2023)

Não existem normativas referentes à padronização de comportamentos reológicos em esmaltes cerâmicos. Dessa forma, os fabricantes são responsáveis por estipular condições ideais de operação para insumos de diferentes características e aplicações.

Em termos de tempo de viscosidade, esmaltes mates e engobes tendem a ser mais críticos em comparação com esmaltes transparentes. Isso ocorre porque estes, muitas vezes, possuem uma viscosidade mais alta devido a presença de materiais como óxidos, minerais opacificantes e partículas que proporcionam efeitos específicos. Essas partículas podem fazer com que o esmalte seja mais espesso e tenha uma tendência maior a se tornar viscoso ao longo do tempo (PRACIDELLI, 2008).

Adotou-se a metodologia de liberação utilizada pela indústria de coloríficos onde realizou-se o presente estudo. Para definir um esmalte cerâmico como apto para aplicações industriais, este necessita possuir um desvio menor que 20% da

performance reológica de um padrão pré-estabelecido.

Neste caso, comparou-se a viscosidade de ambas as condições estipuladas (Padrão e Inibidor). Os resultados obtidos foram variados, mostrando que a adição do tratamento ao processo produtivo implica em diferentes condições para cada tipologia. No engobe, observou-se uma redução de 5% do tempo de escoamento de descarga do material, com essa diferença aumentando para aproximadamente 7% depois de 24 horas. Nos outros dois casos, notou-se um comportamento contrário, desta vez de aumento.

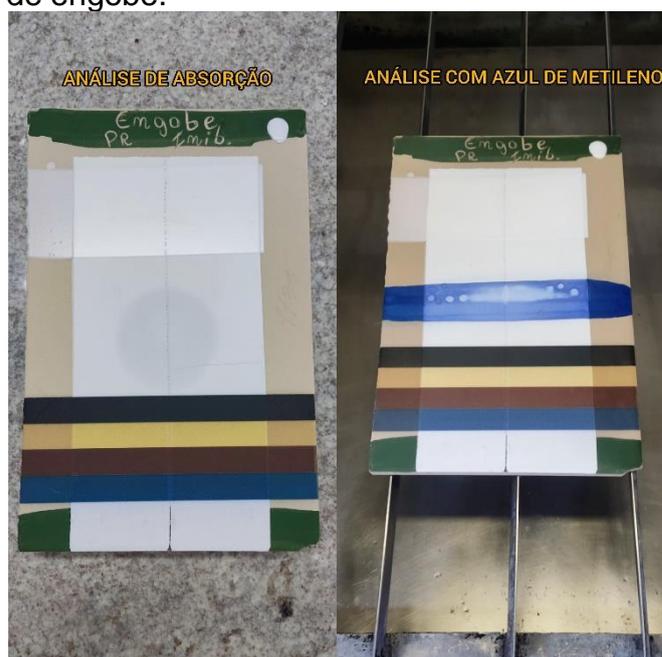
Em todos os casos analisados, os esmaltes cerâmicos estariam classificados como apto, uma vez que a maior diferença observada foi a medição de 24 horas do esmalte mate, onde encontrou-se uma condição com tempo de escoamento 10% superior à referência adotada. De uma maneira geral, todos os insumos apresentaram maior viscosidade com o passar tempo, fator esse bastante comum no âmbito industrial. Esse comportamento pode ser explicado por um fator principal: as variações de temperatura.

Uma vez que o esmalte passa pelo processo de descarga, ele atinge um pico máximo de temperatura, causado pela intensa colisão das partículas durante o processo de moagem. Com o passar do tempo, o material se estabiliza à temperatura ambiente, o que implica numa gradativa redução da energia cinética, fazendo com que as moléculas desenvolvam uma movimentação mais lenta, que por fim resulta em uma maior atração entre as mesmas e em uma consequente maior resistência ao fluxo. Esse fenômeno é também classificado como o aumento de forças intermoleculares, como as de Van der Waals (OGATA, 2008).

#### 4.4 POROSIDADE

Conforme o procedimento experimental, realizou-se duas metodologias de determinação da porosidade para o engobe preparado: utilizando o indicador azul de metileno e com base na absorção de uma fonte de água que fique em contato com o revestimento cerâmico. A Fig. 7 exhibe as duas metodologias de análise aplicadas sobre o revestimento.

Figura 7: Ensaio de Porosidade nas amostras de engobe.



Fonte: Do Autor (2023)

Conforme exibido, pode-se observar que em ambos ensaios a absorção foi similar nas condições estudadas. O acinzentado causado pelo acúmulo de água no biscoito da peça e evidenciado pela opacidade do engobe foi gradativo e semelhante, ao mesmo tempo em que a intensidade do tom azulado provocado pela utilização do indicador azul de metileno se comportou de mesma maneira.

A determinação da porosidade de um engobe cerâmico é essencial, especialmente em queimas de monoporosa. Nesta tipologia, os revestimentos cerâmicos possuem uma taxa de absorção maior que 10%, conseqüentemente estando mais sujeitas às influências da umidade dos ambientes onde serão aplicadas. Um alto grau de porosidade torna a percepção de manchas muito mais notável, além de causar um grande impacto na resistência mecânica do revestimento, uma vez que torna este, de uma maneira geral, mais frágil. A interrupção das ligações sólidas é um exemplo deste caso, onde os poros atuam como pontos de concentração de tensão (AMORIM, 2023).

#### 4.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A partir da constatação dos resultados obtidos após realização das análises de

caracterização propostas, exibe-se o Qd. 4. No quadro, estão contidas de forma sucinta todas as informações resultantes dos ensaios realizados, avaliando-as em comparativo com os parâmetros mínimos requeridos pela empresa de coloríficos para uma possível implementação do tratamento da água do sistema de resfriamento.

Quadro 4: Determinações necessárias para implementação do tratamento.

<b>Ensaio Realizado</b>	<b>Resultado Requerido para aprovação</b>	<b>Condição final após realização dos ensaios</b>
Análises Sensoriais (Textura, Brilho, Cor e Opacidade)	Não apresentar mudanças de aspecto nos revestimentos cerâmicos.	Aprovado
Ataque Químico	Apresentar resistência química similar ao padrão pré-determinado.	Aprovado
Reologia	Apresentar desvio mínimo de 20% da performance reológica do padrão pré-determinado.	Aprovado
Porosidade	Apresentar absorção similar ao padrão pré-determinado.	Aprovado

Fonte: Do Autor (2023)

Com os resultados evidenciados no quadro anterior, resta-se concluir que por apresentar-se aprovado em todas as condições propostas pela empresa de coloríficos, o tratamento com inibidores na água de resfriamento se torna uma alternativa extremamente interessante para manutenção da qualidade operacional dos equipamentos utilizados nesse sistema sem causar qualquer interferência perceptiva no produto final.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados e discussões, estão fornecidas evidências consistentes de que a adição dos inibidores ao processo de formação de frita cerâmica é uma abordagem viável e que estes não impactam negativamente nas propriedades dos revestimentos cerâmicos. As diversas análises realizadas abordaram parâmetros críticos, incluindo aspectos sensoriais, resistência química, propriedades reológicas e porosidade. Os resultados obtidos nessas análises sugerem que o tratamento pode

ser implementado com confiança na produção das fritas cerâmicas.

No que diz respeito à análise sensorial, a manutenção do brilho, opacidade, textura e cor dos esmaltes cerâmicos com a presença dos inibidores é uma descoberta significativa. O brilho, em particular, é um atributo crucial na indústria cerâmica, e o fato de que não houve uma redução ou aumento significativa no brilho dos revestimentos sob a influência dos inibidores é uma constatação promissora. Isso implica que a capacidade de reflexão dos revestimentos não foi prejudicada, o que é fundamental para a qualidade dos produtos cerâmicos.

A avaliação da resistência química é um aspecto crítico e os resultados evidenciam que o revestimento cerâmico manteve sua integridade após ser submetido a esse teste. Essa constatação é importante pois sugere que esses revestimentos podem ser aplicados em ambientes onde a exposição a agentes químicos é uma preocupação, sem sofrer degradação significativa.

As análises reológicas também são cruciais para a indústria cerâmica, uma vez que a viscosidade e a tixotropia dos esmaltes afetam diretamente a capacidade de processamento e moldagem. Ainda que tenham ocorrido variações nas propriedades reológicas em relação à presença dos inibidores, essas mudanças mantiveram-se dentro de limites aceitáveis para a indústria de coloríficos. Portanto, conclui-se que os inibidores não prejudicaram a capacidade de moldagem dos esmaltes cerâmicos.

Por fim, a análise de porosidade demonstrou que os inibidores não tiveram um impacto significativo na absorção de água dos engobes cerâmicos. Isso é especialmente relevante em aplicações de queima monoporosa, onde altos níveis de porosidade podem resultar em manchas visíveis e comprometer a resistência mecânica do revestimento.

Em resumo, este estudo oferece um conjunto convincente de resultados que sustentam a conclusão de que a adição de inibidores no processo de formação de frita cerâmica é uma medida viável. Os revestimentos cerâmicos produzidos com a presença desses inibidores mantiveram suas propriedades sensoriais, resistência química, comportamento reológico e níveis de porosidade dentro de padrões aceitáveis. Portanto, esse tratamento pode ser implementado com segurança na indústria cerâmica, abrindo caminho para melhorias na eficiência do processo e na qualidade dos produtos finais.

## REFERÊNCIAS

- ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica. **Cerâmica no Brasil: coloríficos.** Disponível em: <https://abceram.org.br/colorificios-2/>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- AMORIM, Matheus Moura. **Economia circular por meio da valorização de resíduo como matéria-prima em materiais cerâmicos.** 6 f. TCC (Graduação em Engenharia de Minas) – Instituto Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2023. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2763/1/Matheus%20Moura%20Amorim.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2023.
- ANFACER, Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. **Números do Setor Cerâmico.** Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>. Acesso em: 12 mar. 2023.
- BARREDA, Maria Fernanda Gazulla. **Estudo cinético da dissolução de componentes de uma frita em meio aquoso.** 2005. 325 f. Tese (Doutorado em Ciências Químicas) - Universidade Jaume I de Castellón, Espanha, 2005. Disponível em: <https://www.tdx.cat/handle/10803/10388>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- BRICEÑO, Juan Jesús Saniz; MERMA, David Ccala. **Formulação de uma frita debaixo temperatura para obter um esmalte transparente a partir de material reciclado.** 130 f. TCC (Graduação em Engenharia de Processos) – Universidade Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, 2014. Disponível em: <https://rb.gy/d3nok4>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- COELHO, Jorge Luiz. **Utilização do resíduo de beneficiamento mineral de uma rocha com espodumênio no desenvolvimento de fritas e esmaltes cerâmicos.** 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://rb.gy/xlqwmz>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- CORTINOVIS, Giorgia Francine e SONG, Tah Wun. Funcionamento de uma torre de resfriamento de água. **Revista de Graduação da Engenharia Química**, São Paulo, v. 6, n. 14, p. 5-10, 2005. Disponível em: <http://www.hottopos.com/regeq14/giorgia.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- DÍAZ, Gabriel Lizardo Vallejo. **Recuperação de calor das paredes de um forno de produção de frita cerâmica.** 2019. 77 f. Dissertação (Mestrado em Minas) – Universidade Nacional de Colombia, Medellín, 2019. Disponível em: <https://rb.gy/6uct3a>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- ELKIND, Raul. **Utilidades – Sistema de Águas.** Curso de Formação de Operadores de Refinaria, Petrobras, Curitiba, 2002. Disponível em: [http://www.escolaelectra.com.br/alumni/biblioteca/Termodinamica\\_ebah.pdf](http://www.escolaelectra.com.br/alumni/biblioteca/Termodinamica_ebah.pdf).

Acesso em: 28 abr. 2023.

FERNANDES, M.C.S; PAULIN FILHO, P.I.; MORELLI, M.R. Análise da superfície de grês porcelanato por microscopia de força atômica. **Cerâmica**, São Carlos, SP, v.57, p. 173-179, novembro de 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/65FLYzDYjs3dcLWpkxCVs6p/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 set. 2023.

FONSECA, Maria Helena de Faria.; BARBOSA, Maria Patrícia Santos.; VILAR, Uirá Pereira.; JUNIOR, Ubirajara Pereira de Lucena.; LOBO, Carlos José de Sá. Estudo da influência da porosidade em materiais cerâmicos. **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Natal, v.1, n.22, p. 1348-1351, 2016. Disponível em: <https://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/105-055.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

FRANCO, Ediguer E. **Análise do método de medição de viscosidade de líquidos por ultra-som usando a reflexão de ondas de cisalhamento**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3152/tde-27112006-143043/publico/dissertacao.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

HERAS, Federico Michavila. A Evolução das Fábricas de Fritas, Esmaltes e Corantes Cerâmicos e sua Contribuição para o Setor Cerâmico. **Cerâmica Industrial**, Espanha, v. 7, n. 4, p. 7-17, agosto de 2002. Disponível em: <https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657137f8c9d6e028b4673/pdf/ci-7-4-587657137f8c9d6e028b4673.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023.

HOTZA, Dachamir; OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. 2. Ed. rev. Florianópolis: Ed.UFSC, 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/DESENVOLVIMENTOBR/Downloads/Tecnologia%20de%20fabrica%C3%A7%C3%A3o%20de%20revestimentos%20cer%C3%A2micos%20e-book.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023.

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, 2010. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876573f7f8c9d6e028b4776/pdf/ci-15-1-5876573f7f8c9d6e028b4776.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2023.

KILLER, Rafael Antonio; ROTTA, Ivana Salvagni. **A evolução e as estratégias do setor cerâmico no contexto brasileiro**. 2019. 10 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Conbrepro, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: [http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10262019\\_001013\\_5db3b825a](http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10262019_001013_5db3b825a)

e01a.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2023.

LIMA, Paulo Henrique de Silva. Tixotropia e pastas de cimento: uma introdução. **Acta Scientia**, São Paulo, v.3, n.1, p. 8-10, 2021. Disponível em: <https://periodicos.iesp.edu.br/index.php/actascientia/article/download/491/353>. Acesso em: 24 set. 2023.

MACHADO, Silvia Maria De Oliveira. **Avaliação do efeito antimicrobiano dosurfactante cloreto de benzalcônio no controle da formação de biofilmes indesejáveis**. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica) -Universidade do Minho, Braga, 2005. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3466/1/Tese%20Final.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

MACHADO, Stefany Zimmermann. **Estudo do efeito de ataque químico em revestimentos cerâmicos esmaltados: Brilhoso com e sem polimento**. 2019. 60 f. TCC (Graduação em Engenharia Química) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4089/2/Estudo%20do%20Efeito%20de%20Ataque%20Qu%C3%ADmico%20em%20Revestimentos%20Cer%C3%A2micos%20Esmaltados%20Brilhoso%20com%20e%20sem%20Polimento.pdf>. Acesso em: 04 maio 2023.

MELCHIADES, Fábio Gomes; LEPRI NETO, Carlos; ALVES, Helton José; BOSCHI, Anselmo Ortega. Formulação de fritas cerâmicas com o auxílio da técnica de planejamento estatístico de experimentos. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 14, n. 3, p. 23-29, junho de 2009. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876573c7f8c9d6e028b4764/pdf/ci-14-3-5876573c7f8c9d6e028b4764.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023.

MELCHIADES, Fábio Gomes; REGO, Bruna Turino; ZAUBERAS, Rodrigo Tognotti; BOSCHI, Anselmo Ortega. Resistência ao ataque químico dos esmaltes mates acetinados. Parte 1: Características microestruturais de produtos comerciais. **Cerâmica Industrial**. São Carlos, v.11, n.3, p. 13-16, Julho de 2006. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876572b7f8c9d6e028b46fe/pdf/ci-11-4-5876572b7f8c9d6e028b46fe.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2023

OGATA, Paula; HIGA, Silvia Midori; MELCHIADES, Fábio Gomes; BOSCHI, Anselmo Ortega. Efeito do teor de aditivos e bentonita sobre a facilidade de peneiramento e sedimentação de esmaltes cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 19-21, 2008. Disponível em: <https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657367f8c9d6e028b4742/pdf/ci-13-4-587657367f8c9d6e028b4742.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2023.

OIKAWA, Eduardo Hiroshi. **Avaliação de um sistema industrial de resfriamento de água**. 2012. 100 f. Dissertação (mestrado em Engenharia



Química) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em:  
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-16112012-114140/publico/DissertacaoEduardoHiroshiOikawa.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

PAULA, Mariana Silva de. **Avaliação da corrosão microbiológica do aço carbono 1020 em água do mar sintética na presença de bactérias redutoras de sulfato**. 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:  
<https://www.bdtd.uerj.br:8443/bitstream/1/11925/1/dissertacao%20mariana%20de%20Paula.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

PEREIRA, Josenilma de Sousa. **Consumo de água do sistema de resfriamento Mangabeira shopping, João Pessoa, PB e viabilidade de reuso da água de descarte para fins não potáveis**. 2018. 38 f. TCC (Graduação em Tecnologia em Produção Sucroalcooleira) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2018. Disponível em: <  
<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15972/1/JSP07102019.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

PERES, Fernando Antonio Serrapio; TEIXEIRA, Luiz Alberto Cesar; YOKOYAMA, Lídia; CAMPOS, Juacyara Carbonelli; MIGUEL, Marco Antônio Lemos. Tratamento de águas de refrigeração com peróxido de hidrogênio. **Química Nova**, Vol. 31, p. 1851-1855, julho. 2008. Disponível em: [https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol31No7\\_185\\_1\\_41-NT07343.pdf](https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol31No7_185_1_41-NT07343.pdf). Acesso em: 25 abr. 2023.

PRACIDELLI, Sebastião. Estudo dos esmaltes cerâmicos e engobes. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 13, n. 1-2, p. 8-20, 2008. Disponível em:  
<https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657347f8c9d6e028b4732/pdf/ci-13-1-587657347f8c9d6e028b4732.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

RAMOS, Carlos. Curso: Tratamento de água em torres de resfriamento. **Industrial Water Brasil**, 2022. Disponível em:  
<https://industrialwaterbrasil.com.br/iwb/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

ROMERO, Maximina.; ROBLA, José.; PADILLA, Isabel.; GARCÍA-HIERRO, Javier.; LÓPEZ-DELGADO, Aurora. Eco-efficient melting of glass frits by concentrated solar energy. **Solar Energy**, Madrid, Spain, v. 174, p. 321-327, 27 ago. 2018. Disponível em: <https://rb.gy/ypvpno>. Acesso em: 21 abr. 2023.

SANCHES, E. **Matérias-Primas para a Fabricação de Fritas e Esmaltes Cerâmicos**. 1997. 9 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidad Jaime I, Castellon, 1997. Disponível em: <



<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587656fd7f8c9d6e028b45ed/pdf/ci-2-3-4-587656fd7f8c9d6e028b45ed.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

SERPA, Elaine Cristina de Souza Neves. **Obtenção de fritas cerâmicas a partir de resíduo refratário proveniente do setor metalúrgico**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/90606/242643.pdf?sequen=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SETZ, Luís Fernando Grespan.; KOSHIMIZU, L.; CASTANHO, S.R.H. Mello.; MORELLI, M.R. Análise reológica de suspensões cerâmicas com alta concentração de sólidos. **Congresso Brasileiro de Cerâmica**. Porto de Galinhas, v.1, n.55, p. 1225-1231, 2011. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/2011/eventos/18136.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2023.

SILVA, Amanda Fernandes da. **Otimização de Torres de Resfriamento**. 2015. 133 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://186.202.79.107/download/otimizacao-de-torres-de-resfriamento.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

SILVA, Jean Marcel Prazeres. **Estudo do impacto das não conformidades de uma torre de resfriamento no seu custo total**. 2021. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021. Disponível em: <  
<https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/33375/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20-%20JEAN%20MARCEL%20PRAZERES%20SILVA%20%281%29.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

TAMAYO, Aitana.; RUBIO, Fernando.; RUBIO, Juan. Influência do esmerilhamento na energia superficial de fritas para esmaltes. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**. Madrid, v. 52, n.2, p. 55-62, 2013. Disponível em: <https://rb.gy/aoxp9f>. Acesso em: 25 abr. 2023.

THULUKKANAM, Kuppan. **Heat exchanger Design Handbook**. 2ªed. Flórida: Taylor & Francis Group, 2013

TROVATI, Joubert. **Tratamento da água de resfriamento**. Araraquara, 2004. Disponível em: [https://www.snatural.com.br/PDF\\_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf](https://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf). Acesso em: 30 abr. 2023.