

## **A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE FRITAS BRANCAS, MATES E TRANSPARENTES**

**Ana Caroline Teixeira<sup>1</sup>**

**Morgana Nuernberg Sartor Faraco<sup>2</sup>**

**Resumo:** As fritas cerâmicas são materiais vítreos obtidos pela fusão de uma mistura de matérias-primas, seguida de resfriamento brusco, para favorecer sua quebra em pequenos grânulos de vidro. Esse processo de resfriamento normalmente é feito em um tanque com água em temperatura ambiente. Contudo, na literatura não há um conhecimento técnico explícito das reais interferências dessa temperatura nas propriedades do vidro em questão. Por isso, o presente trabalho tem como propósito o estudo da influência da temperatura da água de resfriamento do processo de fusão de fritas cerâmicas, através de fabricações e análises em escala laboratorial em um forno cadinho de uma indústria de colorifícios da região de Criciúma, Santa Catarina. No procedimento de resfriamento das fritas cerâmicas, cabe citar que foram escolhidas as temperaturas de 5, 26 e 80 °C, a fim de avaliar as características desses vidrados em três diferentes cenários. Após os ensaios realizados de resistência química, fusibilidade, dureza, brilho, opacidade, cor e textura, pode-se concluir que a temperatura da água de resfriamento tem maior influência sobre a dureza do grão das três tipologias de frita em estudo, sendo elas, branca, mate e transparente. Além de que o aumento do percentual desta propriedade gera consequências no aumento da fusibilidade e redução do brilho da frita de tipologia branca. Contudo, cabe citar que em nível de processo industrial é mais viável economicamente trabalhar com uma temperatura ambiente de 26 °C, já que esta pode ser obtida facilmente no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Frita Cerâmica. Temperatura. Resfriamento.

### **1 INTRODUÇÃO**

Segundo Setz e Silva (2019), o vidro faz parte da história da civilização desde os primórdios, se fazendo presente nos mais diversos desenvolvimentos tecnológicos e em manifestações artísticas. Nesse sentido, acredita-se que a fabricação e o processamento de vidros foram descobertos ao acaso, sendo resultado de fogueiras feitas pelo homem primitivo em locais em que, por algum motivo, ocorreu a mistura de areias (silicato de rochas) e minerais de metais alcalinos.

---

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Química, 2022. E-mail: goulartteixeiraana@hotmail.com

<sup>2</sup> Professora do Centro Universitário UniSATC. E-mail: morgana.sartor@satc.edu.br

Baseando-se nesse princípio, as indústrias de coloríficos são empresas que estão presentes no mercado global, trabalhando na produção de produtos destinados à formação de uma camada vítrea na superfície de placas cerâmicas. Dentro dessa gama de insumos fornecidos estão as fritas cerâmicas, material considerado carro-chefe do seguimento.

As fritas cerâmicas são materiais vítreos obtidos pela fusão, em altas temperaturas, de uma mistura de matérias-primas de origem natural ou sintética, seguida de resfriamento brusco para favorecer sua quebra em pequenos grânulos de vidro (DÍAZ, 2019). Esse resfriamento normalmente é feito em um tanque com água pertencente a um circuito fechado equipado com refrigeração, para mantê-la o mais próximo da temperatura ambiente.

Diante disso, cabe citar que o aumento expressivo dessa temperatura da água de resfriamento pode ser danoso à qualidade do vidrado em questão, prejudicando a fragmentação da massa fundida em pequenos grãos de vidro. No entanto, em razão de existir pouco estudo disponível, não há um conhecimento técnico explícito para compreender quais são as reais interferências da temperatura da água de resfriamento nas características físicas, visuais e reológicas desse material.

A principal vantagem proporcionada por este estudo será a compreensão dos impactos que a oscilação de temperatura pode causar nas propriedades da frita cerâmica e, por consequência, maior assertividade na execução de melhorias no processo industrial em questão. Por isso, o presente trabalho tem como propósito estudar a influência da temperatura da água de resfriamento do processo de fusão de fritas cerâmicas, através de fabricações e análises em escala laboratorial em um forno cadinho de uma indústria de Coloríficos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esta seção tem por finalidade apresentar uma revisão da literatura acerca do processo de fabricação de fritas cerâmicas. As informações foram reunidas de modo que forneçam o embasamento teórico necessário para o trabalho.

## 2.1 INDÚSTRIAS DE COLORIFÍCIOS

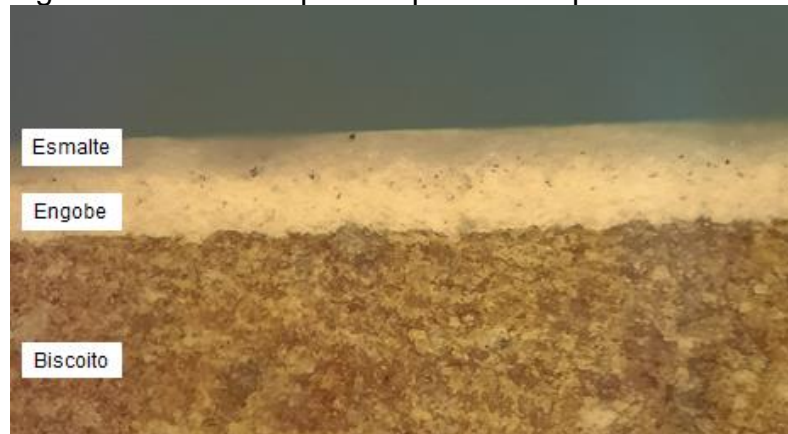
Subsidiando o aprimoramento tecnológico e incorporando inovações no robusto desenvolvimento do setor de revestimentos cerâmicos nacional, os colorifícios integram o ramo dos produtos minerais não metálicos da indústria de transformação e o conjunto de cadeias produtivas que compõem o complexo da construção civil (JUNIOR et al., 2010).

Essas empresas dedicam-se a fabricação de uma gama de produtos, como, fritas, esmaltes e corantes, destinados à formação de uma camada vítrea na superfície das peças cerâmicas, tendo como objetivo aprimorar a estética, impermeabilizar, aumentar a resistência mecânica e proporcionar outras características específicas ao revestimento. No entanto, cabe citar que engobes, granilhas, pastas serigráficas, tintas, veículos e aditivos também são comercializados por esse setor (ABCERAM, 2022; HERAS, 2002).

Uma característica importante dessa indústria é o fornecimento de um conjunto de produtos e serviços correlatos, do design das decorações sobrepostas nas placas cerâmicas e assessoria no processo de fabricação, no que se refere à adaptação dos produtos às condições da cerâmica (SCUR e GARCIA, 2008).

A Fig. 1 destaca, por meio de microscopia eletrônica, a seção transversal de uma placa de revestimento cerâmico na qual é possível observar as camadas produzidas a partir dos insumos fabricados pelos colorifícios, sendo elas, engobe e esmalte (JUNIOR et al., 2010). A camada mais espessa é conhecida como biscoito ou suporte, e sua produção é de responsabilidade das indústrias de revestimentos.

Figura 1: Camadas que compõem uma placa cerâmica.



Fonte: Da autora (2022).

O esmalte consiste em uma mistura de matérias-primas que são aplicadas ao suporte cerâmico por meio de diferentes técnicas (ABCERAM, 2022). Após o processo de queima, o esmalte se torna uma camada vítrea, conferindo à superfície do produto final características técnicas e estéticas desejadas, como por exemplo, impermeabilidade, resistência aos agentes químicos, manchas, brilho, opacidade, cor e textura (BARREDA, 2005; PRACIDELLI, 2008).

Já o engobe cerâmico, é um composto argiloso aplicado entre a massa e o esmalte para mascarar as irregularidades da superfície do suporte, formando uma cobertura branca e opaca que proporciona um melhor desenvolvimento da cor dos esmaltes, e, melhora o acoplamento, reduzindo as tensões superficiais e o empeno no revestimento (BARREDA, 2005; CARLOS, 2018).

## 2.2 FRITAS CERÂMICAS

Do ponto de vista da sua natureza, as fritas são compostos vítreos insolúveis em água, obtidos pela fusão e posterior resfriamento rápido, de uma mistura de matérias-primas naturais ou sintéticas (BARREDA, 2005). É nesse resfriamento que a massa fundida se solidifica e fragmenta-se em pequenos grânulos, como exemplificado na Fig. 2. Atualmente, a frita é o principal componente utilizado na composição de esmaltes e engobes, cujas formulações dependerão da aplicação necessária e do acabamento final do revestimento cerâmico (DÍAZ, 2019).

Figura 2: Frita cerâmica.



Fonte: Da autora (2022).

## 2.2.1 Matérias-primas para o processo de fabricação

Para a fabricação desses vidrados são utilizadas matérias-primas distintas umas das outras, tanto no que se refere à composição, quanto nas propriedades físicas e mineralógicas. Por isso, é importante estabelecer alguns critérios para a seleção desses materiais que entrarão nas formulações das fritas cerâmicas.

Em primeiro lugar, deve-se levar em consideração a composição química do material, a fim de evitar impurezas e não deteriorar a qualidade da frita obtida, depois os tamanhos de partículas e fluidez do material em pó, pois os mesmos dificultam as operações de mescla, transporte, pesagem e incorporação do sólido à massa fundida durante o ciclo de fusão (Sánchez, 1997).

Assim sendo, as principais matérias-primas constituintes das fritas cerâmicas com as suas respectivas funções e características são citadas a seguir.

### 2.2.1.1 Alumina

A alumina é um óxido de grande importância nas formulações das fritas cerâmicas, sendo um material altamente refratário. Pode ser classificado como um estabilizador de rede, responsável por diminuir o coeficiente de expansão térmica e aumentar a viscosidade e resistência mecânica do vidrado (PEREIRA, 2018). Nas formulações são colocados em média de 2 a 10% deste material.

### 2.2.1.2 Álcalis

As matérias-primas álcalis se apresentam na forma de óxido de potássio ( $K_2O$ ) e óxido de sódio ( $Na_2O$ ), possuem elevada atividade química, trabalham como fortes fundentes e atuam no aumento do coeficiente de dilatação térmica linear. As fritas sódicas se diferem das potássicas na viscosidade da massa fundida, os vidros potássios são mais viscosos quando comparados aos sódicos (MERMA e BRICEÑO, 2014). Os percentuais de óxido de sódio e potássio comumente utilizados variam de 1 a 4%.

#### 2.2.1.3 Dióxido de titânio

Atua como um agente opacificante, é responsável por melhorar a resistência química e aumentar a resistência à abrasão. Em contrapartida, diminui a viscosidade do material fundido e a solubilidade das fritas alcalinas (MERMA e BRICEÑO, 2014). Em fritas brancas contém de 6 a 10% desta matéria-prima.

#### 2.2.1.4 Óxido de cálcio

Inserido nas formulações para aumentar a dureza e a resistência química das fritas cerâmicas, embora reduza o coeficiente de expansão térmica. Atua também como um estabilizante da massa fundida (MERMA e BRICEÑO, 2014). Nas composições são adicionadas de 1 a 15% de óxido de cálcio.

#### 2.2.1.5 Óxido de zinco

O óxido de zinco é um agente fundente efetivo em vidrados com média a alta temperatura de fusão, sendo utilizado de 2 a 10% nas formulações. Ademais, enquanto diminui o coeficiente de expansão térmica dos vidrados confere maior resistência química, elasticidade e brilho (SCHABBACH, 1999).

#### 2.2.1.6 Quartzo

Matéria-prima mais importante e abundante na composição de uma frita compondo de 2 a 60% das formulações. Apesar de ter um papel importante na formação da estrutura do vidro, sua temperatura de fusão é bastante elevada e proporciona maior resistência mecânica e química (MERMA e BRICEÑO, 2014).

#### 2.2.1.7 Zircônio

O silicato de zircônio ( $Zr_2O_3$ ) é um composto muito utilizado por funcionar como opacificante bastante ativo, proporcionando ao vidrado uma maior resistência química e viscosidade da massa fundida (PEREIRA, 2018).



### 2.2.2 O processo de fabricação

O processo de fabricação da frita cerâmica inicia pela seleção e dosagem das matérias-primas, previamente selecionadas e inspecionadas, na quantidade estabelecida. Em seguida, são transferidas para um misturador onde são homogeneizadas e descarregadas em um silo, que por sua vez dosa para o forno através de uma rosca sem fim, cuja velocidade controla o fluxo de massa do material que está sendo alimentado (DÍAZ, 2019).

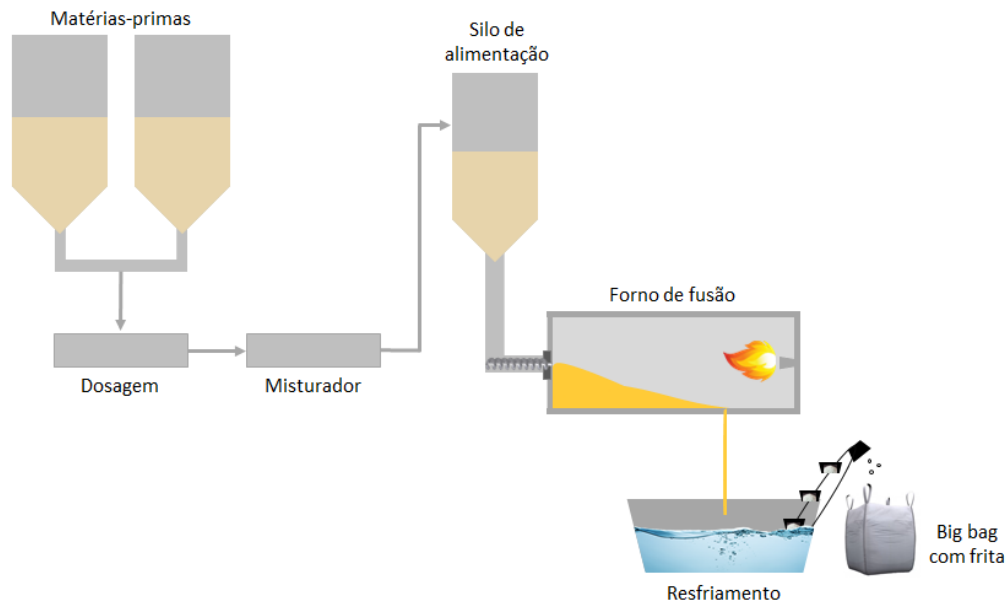
No forno à medida que a temperatura da mistura introduzida aumenta, as diferentes matérias-primas sofrem uma série de transformações, tal como, mudanças de fase, decomposições, combinações e difusão na fase fundida (COELHO, 2014). No entanto, a fusão dessas matérias-primas não ocorre de forma simultânea, pois nem todas possuem o mesmo ponto de fusão. Os materiais com pontos de fusão mais baixos geram uma fase vítrea inicial, a viscosidade da massa fundida diminui e a difusão iônica é facilitada, acelerando a fusão dos demais componentes que são mais refratários. (MERMA e BRICEÑO, 2014).

Nesse processo de fusão o tempo de permanência do material dentro do forno é definido de acordo com a velocidade de fusão das matérias-primas e a fluidez do material fundido (COELHO, 2014). Após a fusão, a massa fundida incandescente é depositada em um tanque com água, em temperatura ambiente, sendo submetida a um resfriamento brusco. Com esse choque térmico, o vidro se quebra em pequenos fragmentos de formato irregular e a extração ocorre através de uma rosca sem fim (TAMAYO et al., 2013).

Contudo, cabe citar que a água do resfriamento faz parte de um circuito fechado equipado com refrigeração. É importante que ela seja renovada com frequência, caso contrário ela ficará saturada e não dissolverá os componentes que não foram insolubilizados durante o processo de sinterização (RENAU, 1994).

Essa etapa de resfriamento brusco da frita fundida é o foco deste trabalho, onde será estudada a influência da temperatura desta água no processo de fabricação de fritas cerâmicas avaliando a influência desta, na qualidade das diferentes tipologias existentes desse material. A Fig. 3 expõe as etapas envolvidas no processo de fabricação da frita cerâmica.

Figura 3: Processo de fabricação das fritas cerâmicas.



Fonte: Da autora (2022).

### 2.2.3 Classificação de fritas

Atualmente, existe uma ampla variedade de fritas cerâmicas, com diferentes fusibilidades, características de brilho e opacidade. As mesmas podem ser classificadas como fritas transparentes, brancas e mates (ROMERO et al., 2018).

As fritas transparentes são compostas por um alto percentual de sílica e uma moderada quantidade de óxidos de metais alcalinos e alcalino-terrosos. São usadas na preparação de esmaltes para o recobrimento de diversas tipologias de produtos em que essas características de transparência e brilho são requeridas (OLIVEIRA e HOTZA, 2011).

No entanto, as fritas brancas se diferem das citadas anteriormente, porque são opacificadas com a utilização de silicato de zircônio ou dióxido de titânio. Após a queima apresentam coloração branca, mascarando a cor do suporte cerâmico. Na maioria das vezes, são aplicadas na composição de engobes cerâmicos (COELHO, 2014).

Já nas fritas mates, visualmente é evidente uma matização da superfície, acompanhada de uma melhora das características mecânicas, como a resistência ao desgaste por abrasão do esmalte obtido. Contudo, é necessária atenção com relação ao ataque químico desses vidrados já que possuem óxido de zinco em suas formulações (OLIVEIRA e HOTZA, 2011).



## 2.2.4 Ensaios de caracterização

Na caracterização das fritas cerâmicas, alguns ensaios são primordiais para a avaliação das propriedades físico-químicas e estéticas, como, a resistência aos agentes químicos, fusibilidade, dureza do grão, brilho, opacidade, cor e textura.

### 2.2.4.1 Resistência química

A resistência química é determinada pela capacidade que a superfície de uma placa cerâmica tem de resistir ao ataque de diferentes soluções químicas ácidas ou alcalinas, como por exemplo, aos produtos de limpeza em que são submetidos após a comercialização dos revestimentos (MACHADO, 2019). Com base nisso, são feitos os testes de ataque químico para simular a exposição dos esmaltes aos agentes químicos determinados pela ABNT NBR ISO 10545-13.

As soluções e respectivas preparações necessárias para o teste de resistência química são divididas pela normativa ABNT NBR ISO 10545-13 em produtos químicos domésticos, produtos para tratamento de água de piscina, ácidos e álcalis de baixa e alta concentração. O tempo previsto pela norma de exposição a cada agente químico está apontado na Tab. 1.

Tabela 1: Classificação dos agentes químicos e tempos de exposição.

Classes	Agentes Químicos	Tempo de ataque (h)
Produtos químicos domésticos	Cloreto de amônio (100 g/L)	24
Produtos para tratamento de água de piscina	Hipoclorito de sódio (20 mg/L)	24
	Ácido cítrico (100 g/L)	24
Ácidos e álcalis de baixa e alta concentração	Ácido clorídrico (3 e 18%)	96
	Ácido láctico (5%)	96
	Hidróxido de potássio (30 e 100 g/L)	96

Fonte: Da autora (2022), adaptado de ABNT NBR ISO 10545-13, 2020.

Após o teste de ataque químico, a avaliação é feita de forma visual, isto é, a olho nu, verificando a incidência de mudança de cor, reflexão, textura da superfície e desenvolvimento do brilho. Com isso, a normativa também retrata uma classificação que varia entre A, que apresentam resistência química elevada e não

aparentam ter um efeito visível, B, com mudança visível discernível na aparência e C, com perda parcial ou completa da superfície original.

#### 2.2.4.2 Fusibilidade

O ensaio de fusibilidade tem como objetivo avaliar a fluidez, ou seja, o escoamento da frita cerâmica. O método mais utilizado nas indústrias de colorifícios é o do botão de escorrimento, ao qual se trata de uma análise comparativa entre as amostras prensadas em forma de botão, que são submetidas à queima, em posição inclinada, durante um intervalo de tempo pré-estabelecido (COELHO 2014).

#### 2.2.4.3 Dureza

Em termos gerais, se define a dureza como uma resistência que opõe um corpo ao ser penetrado por outro. Baseado nisso, é possível distinguir três tipos de dureza de interesse no estudo da frita, como, resistência ao risco, à abrasão e ao choque ou impacto (PRACIDELLI, 2008).

A avaliação da dureza através da resistência ao impacto, método utilizado neste estudo, consiste na medição estimada do grau de rigidez da estrutura vítrea e está relacionada diretamente com a composição química de cada tipologia de frita, temperatura de fusão e histórico térmico do processo de resfriamento (RENAU, 1994).

#### 2.2.4.4 Brilho, opacidade, cor e textura

A verificação do brilho e da opacidade são essenciais na caracterização dos vidrados, em virtude do aspecto estético que conferem ao produto acabado (MELCHIADES; LEPRI NETO; ALVES; BOSCHI, 2009). Essas propriedades ópticas estão relacionadas à fração de luz transmitida difusamente que determina a opacidade, ao percentual de luz propagado que confere a cor e a reflexão que determina o brilho (PRACIDELLI, 2008).

A opacidade normalmente é avaliada visualmente pelo potencial de cobertura e o brilho aferido com um instrumento chamado brilhômetro. A medida

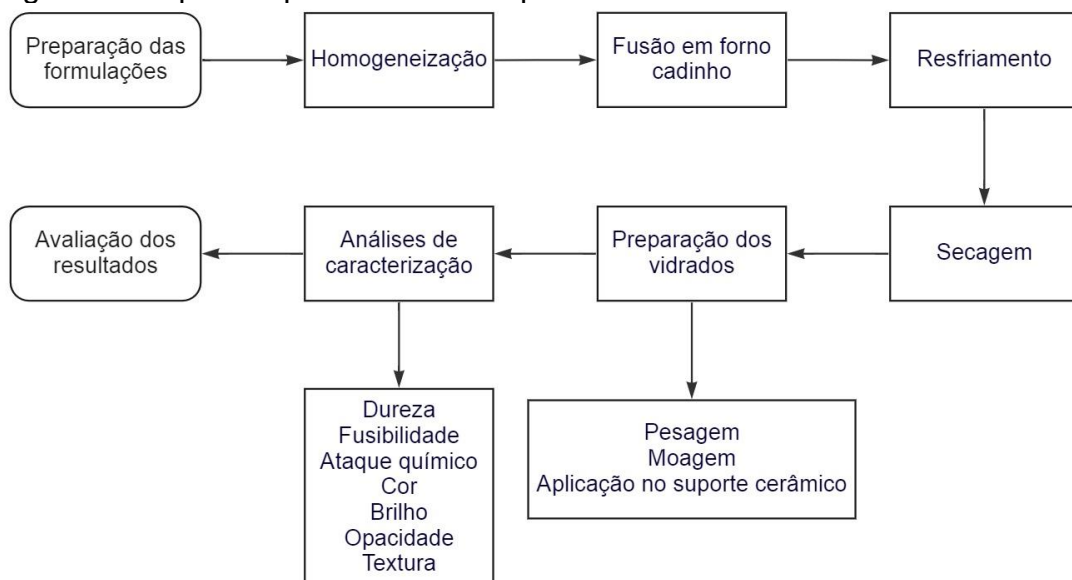
fornecida por esse equipamento corresponde à reflexão da superfície da placa cerâmica quando é incidida sobre a mesma luz com um ângulo de incidência determinado (SERPA, 2007). Para obter um resultado confiável de medida a superfície deve ser plana e uniforme.

Por fim, a textura é avaliada através da percepção tátil e visual e o desenvolvimento de cor por meio de um espectrofotômetro que mede quantitativamente os desvios nas coordenadas cromáticas do sistema de cores  $L^*a^*b^*$ , também conhecido como CIELAB, a fim de garantir que o produto final esteja de acordo com suas especificações. (COELHO, 2014). Nesse sistema, a cor é definida pela luminosidade (variável  $L^*$ ), variando de branco a preto, a tonalidade é expressa pelas cores primárias através coordenada cromática ' $a^*$ ' que varia de verde a vermelho e ' $b^*$ ' do azul ao amarelo (MENDOZA; BORGES, 2015).

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo são descritos os procedimentos experimentais adotados, baseados nas metodologias internas de uma indústria de coloríficos da região, para produção e caracterização das fritas cerâmicas. Todos os ensaios foram realizados no laboratório de Controle de Qualidade da empresa em que está sendo feito o estudo. A Fig. 4 descreve as etapas envolvidas neste trabalho.

Figura 4: Etapas do procedimento experimental.



Fonte: Da autora (2022).

### 3.1 PREPARAÇÃO DAS FORMULAÇÕES

Inicialmente foram realizadas as pesagens das matérias-primas correspondentes às formulações das fritas brancas, mates e transparentes, conforme as composições químicas citadas na Tab. 2. Cada formulação foi preparada com uma proporção de 500 gramas de material.

Tabela 2: Composições das fritas cerâmicas.

Matérias-primas	Percentual das matérias-primas em cada tipologia (%)		
	Frita branca	Frita mate	Frita transparente
A	8,50	16,00	4,80
B	0,00	2,50	0,80
C	7,80	13,80	15,40
D	0,20	0,00	0,10
E	3,40	2,30	2,15
F	2,80	0,35	2,00
G	8,00	2,70	1,20
H	0,00	1,60	0,60
I	58,30	53,70	65,65
J	0,00	0,15	0,00
K	0,50	6,90	7,30
M	10,50	0,00	0,00

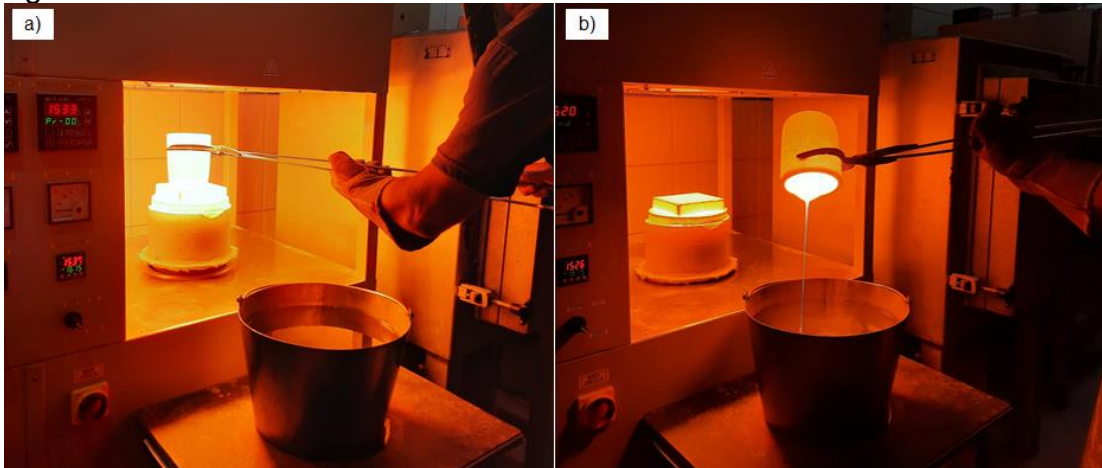
Fonte: Da autora (2022).

Logo após as amostras foram homogeneizadas individualmente de forma manual, durante 5 minutos, a fim de produzir uma mistura uniforme. Posteriormente, o material resultante foi transferido para um cadinho de cerâmica refratária.

### 3.2 FUSÃO E RESFRIAMENTO

Nesta etapa, ocorreu a fusão das formulações em um forno cadinho de laboratório, modelo 1116E2 da marca Clasic CZ s.r.o., a 1540 °C durante o período de 25 minutos. Em seguida, a massa fundida foi resfriada em banho de água, como ilustrado na Fig. 5, nas temperaturas de 5, 26 e 80 °C. Estes parâmetros foram escolhidos de modo com que fosse possível ter três temperaturas bastante distintas, uma fria, uma intermediária e uma temperatura alta, para avaliar o comportamento da frita em diferentes cenários.

Figura 5: Etapa de fusão e resfriamento da frita cerâmica. a) Remoção do cadinho após a fusão. b) Descarregamento da massa fundida no banho de água.



Fonte: Da autora (2022).

### 3.3 SECAGEM

Após a etapa de resfriamento, as fritas passaram pelo processo de secagem a fim de remover a umidade contida nos vidrados produzidos. Para isso, retirou-se a água do recipiente em que a frita estava contida e em uma estufa, modelo 515 da marca Fanem, foi feita a secagem em 100 °C por 1 hora.

### 3.4 PREPARAÇÃO DOS VIDRADOS

Para avaliar o comportamento das fritas desenvolvidas, inicialmente, foram pesadas as composições dos vidrados, desenvolvidas por especialistas da Indústria de Coloríficos em que foi feito o estudo, conforme Tab. 3.

Tabela 3: Formulação do vidro desenvolvido para os ensaios de caracterização das fritas.

Material	Quantidade (g)
Frita	180,00
Caulim	20,00
Aditivos	1,20

Fonte: Da autora (2022).

Em seguida, as misturas foram moídas a úmido em um moinho de jarros com esferas de alumina, por 15 minutos com 35% de massa de água e teor de

resíduo compreendido entre 3 e 5% em peneira de malha 45  $\mu\text{m}$ . Ao final do processo de moagem, em um recipiente limpo, foram descarregadas as suspensões de vidrados obtidas sobre uma peneira com abertura de 212  $\mu\text{m}$ , a fim de separar os grãos de fritas que não foram moídos.

Logo após, com o auxílio de um Picnômetro Servitech de 100 mL, foi realizada a aferição e ajuste da densidade para 1,82  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Para isto, encheu-se o Picnômetro com as suspensões e fez-se a pesagem em uma balança analítica. A densidade, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ , foi calculada pela subtração da massa do recipiente vazio à massa do Picnômetro contendo o vidrado, Eq. 1.

$$d = m_{\text{recipiente vazio}} - m_{\text{recipiente cheio}} \quad (1)$$

### 3.5 ANÁLISES DE CARACTERIZAÇÃO

Nesta etapa foram realizadas algumas caracterizações importantes para a análise das fritas, com objetivo de verificar qual a influência da temperatura da água de resfriamento do processo de fabricação de fritas sobre as propriedades das mesmas.

#### 3.5.1 Aplicação no suporte cerâmico

Inicialmente, as suspensões de frita mate e transparente foram aplicadas na superfície de placas cerâmicas de porcelanato engobado e as de tipologia branca em placas de monoporosa sem engobe, com o auxílio de um binil com abertura de lâmina de 0,4 mm. Em seguida, em uma impressora a jato de tinta digital, foi feita a impressão de uma faixa colorimétrica nas cores pretas, amarelas, magenta e azul.

Após, as peças foram encaminhadas para queima em um forno industrial a rolo, modelo FR18/12 da marca Enaplic. As peças cerâmicas de monoporosa foram queimadas em temperatura de 1150  $^{\circ}\text{C}$  durante um ciclo de 1 hora e as de porcelanato em 1195  $^{\circ}\text{C}$  por 1 hora.

Posterior à queima, as peças foram avaliadas tendo sempre ao lado o material de referência para comparar a opacidade, brilho, cor e textura. O brilho foi avaliado com um brilhômetro, modelo 480B da Elcometer, o desenvolvimento de cor



com um espectrofotômetro, modelo CM-2500d da Konica Minolta, a opacidade visualmente pelo potencial de cobertura e a textura através da percepção tátil.

### **3.5.2 Resistência ao ataque químico**

Primeiramente, foram preparadas as soluções dos reagentes utilizados no teste de ataque químico, conforme a ABNT NBR ISO 10545-13:

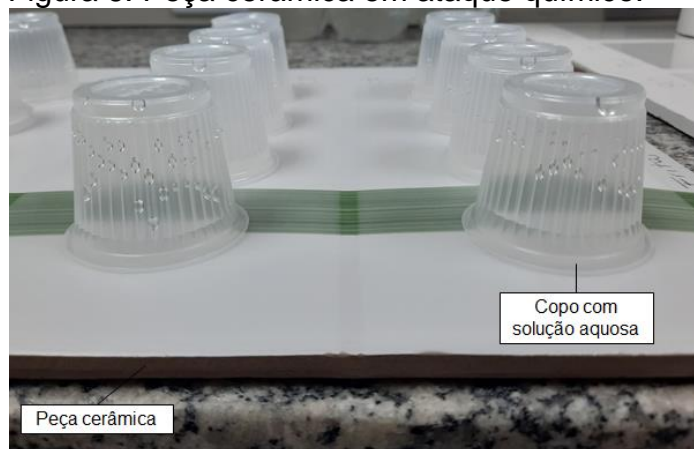
1. Solução de ácido clorídrico (HCl) 3%: adicionou-se 125 mL de água destilada em um balão volumétrico de 250 mL, em seguida, foram adicionados 7,5 mL de ácido clorídrico e completou-se o volume com água destilada até o menisco.
2. Solução de ácido clorídrico (HCl) 18%: colocou-se 125 mL de água destilada em um balão volumétrico de 250 mL, após, foram adicionados 45 mL de ácido clorídrico e encheu-se com água destilada até o menisco.
3. Solução de ácido láctico ( $C_3H_6O_3$ ) 5%: adicionou-se 125 mL de água destilada em um balão volumétrico de 250 mL, em seguida, foram adicionados 45 mL de ácido láctico e completou-se o volume com água destilada até o menisco.
4. Solução de ácido cítrico ( $C_6H_8O_7$ ) 100 g/L: pesou-se 25 g de ácido cítrico e diluiu-se com água destilada, para um balão volumétrico de 250 mL.

Em seguida, com o auxílio de um papel toalha, higienizou-se as peças para retirar o excesso de poeira e estas foram identificadas, nas laterais, com o respectivo reagente químico a ser usado. Para a aplicação das soluções nas placas cerâmicas, foram separados quatro recipientes plásticos de 20 mL, contendo 10 mL da solução respectiva que fora demarcada previamente. Após, foram colocados os copos plásticos em cima de cada aplicação de esmalte, deixando a superfície exposta aos agentes químicos.

As placas cerâmicas com ácido cítrico ficaram em repouso por um período de 24 horas, conforme a Fig. 6. Após esse tempo as soluções foram retiradas, as peças lavadas em água corrente e depois colocadas em uma estufa, modelo 515 da marca Fanem, a 100 °C por 1 hora para retirar a umidade. Logo, as peças foram retiradas da estufa para resfriar em temperatura ambiente e fez-se a

avaliação a olho nu. O mesmo procedimento se aplicou as peças com as soluções de ácido clorídrico 3 e 18% e solução de ácido láctico 5%.

Figura 6: Peça cerâmica em ataque químico.



Fonte: Da autora (2022).

### 3.5.3 Fusibilidade

Inicialmente, foram pesadas 50 gramas de frita e transferiu-se a um jarro com bolas de alumina, adicionou-se 30 mL de água e moeu-se por 5 minutos. Ao final do processo de moagem, a amostra foi descarregada em um recipiente limpo.

Para a confecção dos corpos de prova, foram colocados anéis cilíndricos lubrificados sobre uma peça de monoporosa sem engobe com 15 centímetros de comprimento. Em seguida, foi realizado o preenchimento dos anéis com as suspensões obtidas e posteriormente, retiraram-se os anéis. Logo, as peças foram colocadas no forno a rolo em 1140 °C durante 40 minutos, para aderir os corpos de prova à base cerâmica.

Em seguida, as peças foram submetidas ao processo de sinterização a 1150 °C em um forno mufla, modelo 100H da marca Nabertherm, durante 4 horas, posicionados de modo a formarem um ângulo de 90° com a superfície. Após, as peças foram retiradas do forno e colocadas para resfriar em temperatura ambiente. Por fim, com o auxílio de uma régua foi medido o escoamento de cada amostra em unidades de centímetros.

### 3.5.4 Dureza

Nesta etapa, foram pesadas 200 gramas de frita e transferiu-se a um jarro com bolas de alumina previamente seco. Após, fez-se a moagem a seco do vidro por 5 minutos, peneirou-se em uma peneira de 1,5 mm de abertura e, ao final, pesou-se a quantidade retida na peneira e dividiu-se o resultado por dois para obter o valor em percentual.

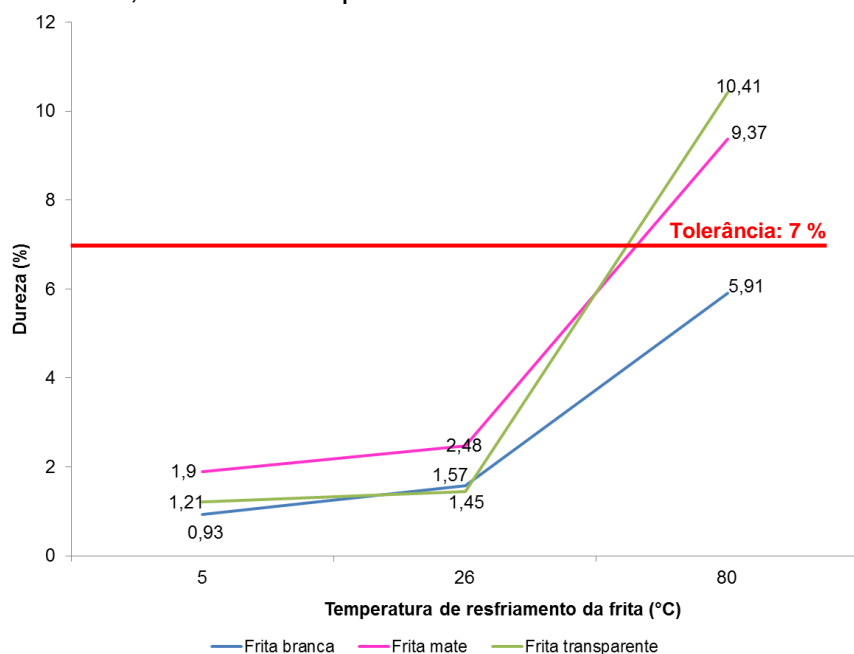
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização das etapas laboratoriais, foi possível analisar e interpretar os resultados obtidos, aos quais são apresentados neste capítulo.

### 4.1 DUREZA

Após a execução do experimento de dureza, obteve-se o resultado do percentual para cada tipologia de frita em estudo, sendo elas, branca, mate e transparente. Estes resultados obtidos estão dispostos na Fig. 7.

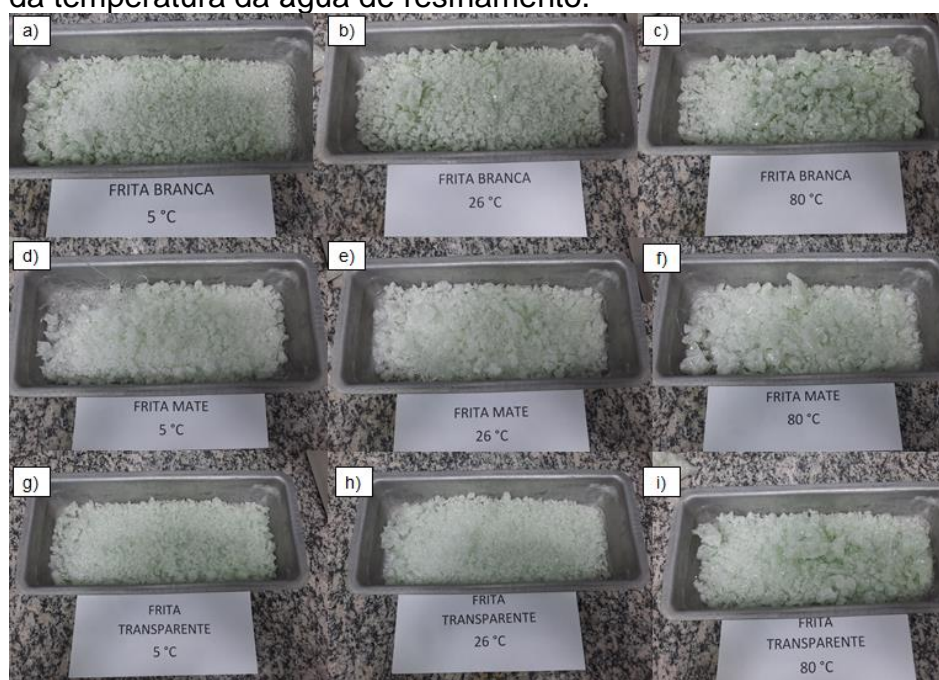
Figura 7: Resultados do ensaio de dureza das fritas brancas, mates e transparentes.



Fonte: Da autora (2022).

Nas três tipologias de frita, é notório que quanto maior a temperatura da água de resfriamento, maior é o percentual de dureza. Isto está relacionado diretamente com o princípio básico de fabricação de frita cerâmica, pois após a fusão das matérias-primas, a massa fundida tem que ser depositada em um tanque com água para ser submetida a um resfriamento brusco, tendo um choque térmico e fragmentando o vidro em pequenos grânulos (TAMAYO et al., 2013). Então, quanto menor a temperatura da água de resfriamento, maior a fragmentação dos grãos de frita. Isso pode ser observado visualmente nas amostras de frita, em que os grãos foram ficando mais espessos com o aumento da temperatura, Fig. 8.

Figura 8: Avaliação visual dos grãos de fritas conforme o aumento da temperatura da água de resfriamento.



Fonte: Da autora (2022).

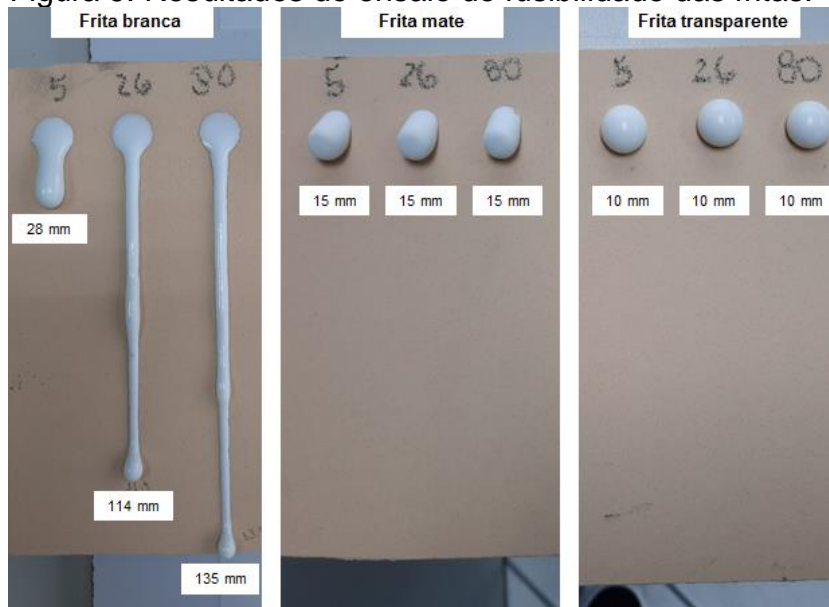
Segundo os procedimentos internos da empresa em que está se fazendo o estudo, se a quantidade retida de frita for maior ou igual a 7%, o material é considerado fora de padrão. Então neste caso, as fritas mate e transparente que foram resfriadas em temperatura de 80 °C não estariam aprovadas.

## 4.2 FUSIBILIDADE

No ensaio de fusibilidade, a análise é feita através da comparação do

comprimento, em milímetros, do escorrimento dos botões que estão em análise sob a peça cerâmica (PEREIRA, 2018). No entanto, através da Fig. 9 pode-se observar que a temperatura da água de resfriamento não influencia na viscosidade de queima das fritas de tipologia mate e transparente.

Figura 9: Resultados do ensaio de fusibilidade das fritas.



Fonte: Da autora (2022).

Já na frita branca, observa-se que com o aumento da temperatura da água de resfriamento, há um aumento na fusibilidade da frita cerâmica, ou seja, na viscosidade de queima. Isso pode ter relação com a dureza da frita, pois com o aumento da temperatura da água de resfriamento há um aumento da dureza do grão de frita e conseqüentemente em um processo de moagem, como o do ensaio de fusibilidade, maior é a dificuldade de moagem do grão, resultando em um maior tamanho de partícula.

Segundo Richerson e Lee (2018), a sinterização em fase líquida envolve a presença de um líquido viscoso na temperatura de sinterização e é o principal mecanismo de densificação para a maioria das composições com silicato. Nesse sentido, há três fatores que controlam a taxa de sinterização em fase líquida, como, o tamanho de partícula, a viscosidade e a tensão superficial. A partir disso, sugere-se então que quanto maior a dureza, maior o tamanho das partículas e maior a fusibilidade da frita branca.

### 4.3 RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

Após o teste de resistência química, a avaliação foi realizada de forma visual, isto é, a olho nu, verificando a incidência de mudança de cor, textura da superfície e desenvolvimento do brilho e os resultados foram classificados conforme o determinado pela ABNT NBR ISO 10545-13. A partir disso, a Tab. 4 foi plotada com os resultados obtidos.

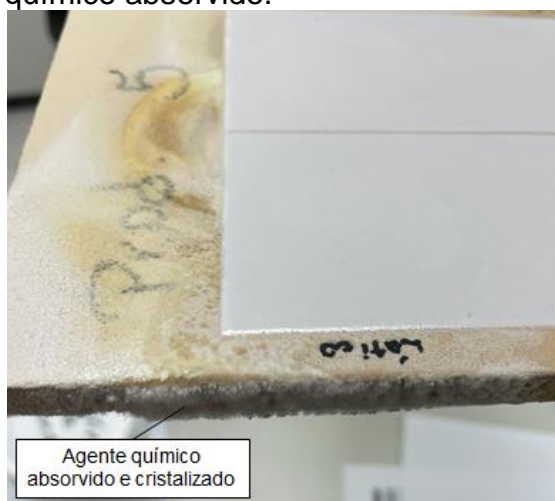
Tabela 4: Classificação do ataque químico frente a diferentes reagentes selecionados para o trabalho.

Agentes químicos	Frita branca			Frita mate			Frita transparente		
	5 °C	26 °C	80 °C	5 °C	26 °C	80 °C	5 °C	26 °C	80 °C
Ácido cítrico 100 g/L	Inconclusivo			A	A	A	A	A	A
Ácido clorídrico 3%	Inconclusivo			A	A	A	A	A	A
Ácido clorídrico 18%	Inconclusivo			A	A	A	A	A	A
Ácido láctico 5%	Inconclusivo			A	A	A	A	A	A

Fonte: Da autora (2022).

Os resultados da frita branca ficaram inconclusivos, pois antes de completar o tempo de exposição da superfície cerâmica aos agentes químicos, a peça absorveu todas as soluções, Fig. 10. Isto pode ter ocorrido devido à tipologia da base cerâmica utilizada, monoporosa sem engobe, pois esta tem muitos poros e característica de elevada absorção de água.

Figura 10: Peça cerâmica com agente químico absorvido.



Fonte: Da autora (2022).



Segundo a ABNT ISO 10545-3:2 a massa monoporosa deve apresentar uma absorção de água maior ou igual a 10%. Por este motivo, é composta em maior percentual por quartzo, que apresenta alto ponto de fusão, aumentando a absorção de água e diminuindo a sua resistência.

Em se tratando dos testes com as fritas mates e transparentes, esses apresentaram classificação A, ou seja, apresentaram resistência química elevada e não apresentaram mudança visível discernível na aparência. Sendo assim, pode-se afirmar que o ataque químico não é sensível ao aumento da temperatura da água de resfriamento da frita mate e transparente. Na frita branca sugere-se testar em peça de monoporosa engobada, pois o engobe tem função impermeabilizante então irá impedir com que a massa cerâmica absorva os agentes químicos.

#### 4.4 COR

Na avaliação da cor, o espectrofotômetro gerou como resposta os valores quantitativos do 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. 2.

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

Baseado nisso, foram realizadas as medições das quatro cores (preto, amarelo, magenta e azul) em cada aplicação que estava contida na peça cerâmica, tendo como padrão de comparação a amostra de frita resfriada em 26 °C. O espectrofotômetro exige um padrão para comparação dos resultados de cor, então as amostras de frita resfriadas em 26 °C foram escolhidas para exercer essa função, pois são intermediárias às três temperaturas que estão em estudo.

As medições foram feitas em triplicata, a fim de obter um resultado mais confiável e ao final, o equipamento gerou o resultado médio entre as medidas. Na Tab. 5 constam os resultados obtidos das medições da peça de frita branca.

Tabela 5: Resultados obtidos da frita branca no espectrofotômetro.

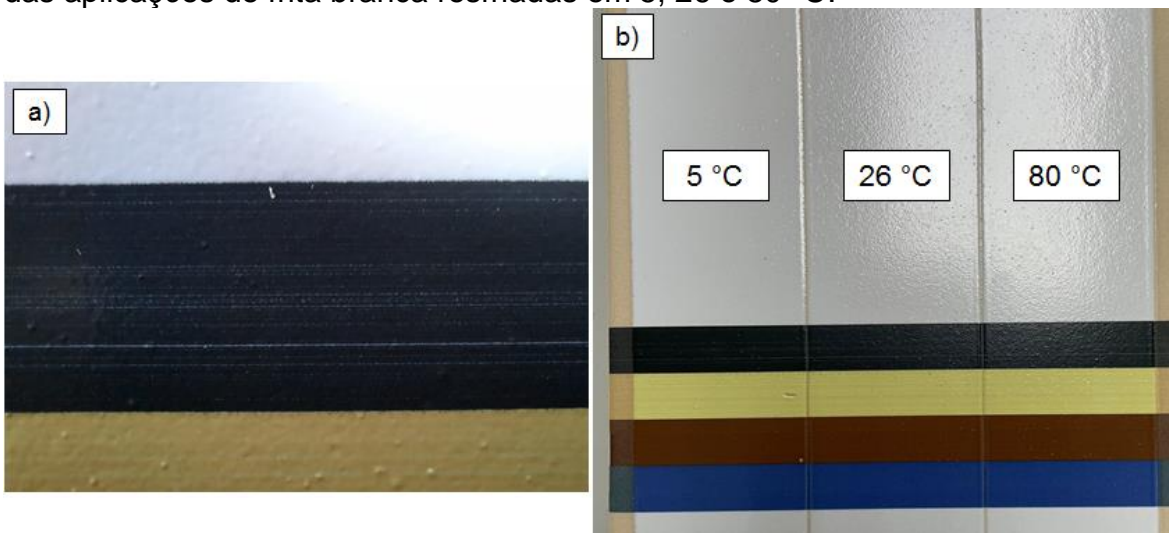
Temperatura da água (°C)	Cor	$\Delta E$	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	Resultado
5	Preto	0,87	0,87	0,04	0,25	Válido
	Amarelo	0,65	0,65	-0,17	1,05	Válido
	Marrom	0,82	0,82	0,37	0,71	Válido
	Azul	0,09	0,09	0,01	-0,08	Válido
80	Preto	1,85	1,85	0,06	0,85	Leitura não válida
	Amarelo	0,22	0,22	0,00	0,41	Válido
	Marrom	0,71	0,71	0,33	0,59	Válido
	Azul	0,81	0,81	0,46	-0,66	Válido

Fonte: Da autora (2022).

A partir do exposto, cabe citar que o resultado é dado como válido quando o equipamento detecta que a diferença total de cor ( $\Delta E$ ) é menor do que 1. Então, considera-se que o esmalte não apresenta diferença significativa de cor em relação a sua amostra padrão (PEREIRA, 2018). Das amostras analisadas de frita branca, o espectrofotômetro identificou que somente a frita resfriada em 80 °C e avaliada na cor preta não estava dentro do padrão.

Isso ocorreu devido a uma falha de impressão da faixa colorimétrica, comumente conhecido como defeito de ranhuras. Essas ranhuras são linhas brancas ou com tonalidade menos intensa no meio da cor que está sendo aplicada na impressão, Fig. 11, que prejudicam a medição correta da cor.

Figura 11: Avaliação de cor da frita branca. a) Defeito de ranhuras causado por um problema no cabeçal da impressora a jato de tinta digital. b) Avaliação visual da cor das aplicações de frita branca resfriadas em 5, 26 e 80 °C.



Fonte: Da autora (2022).

Isso ocorre quando o cabeçal da impressora não tem capacidade de descarregar o percentual total de tinta presente no desenho, normalmente nos detalhes finais de uma impressão. Isto pode sinalizar um entupimento dos injetores de tinta. Na avaliação do desenvolvimento de cor dos esmaltes através da percepção visual, conforme a Fig. 11, não há mudança de cor aparente com o aumento da temperatura da água de resfriamento da frita.

Posteriormente, foram avaliadas as aplicações da frita mate aos quais os resultados obtidos constam na Tab. 6.

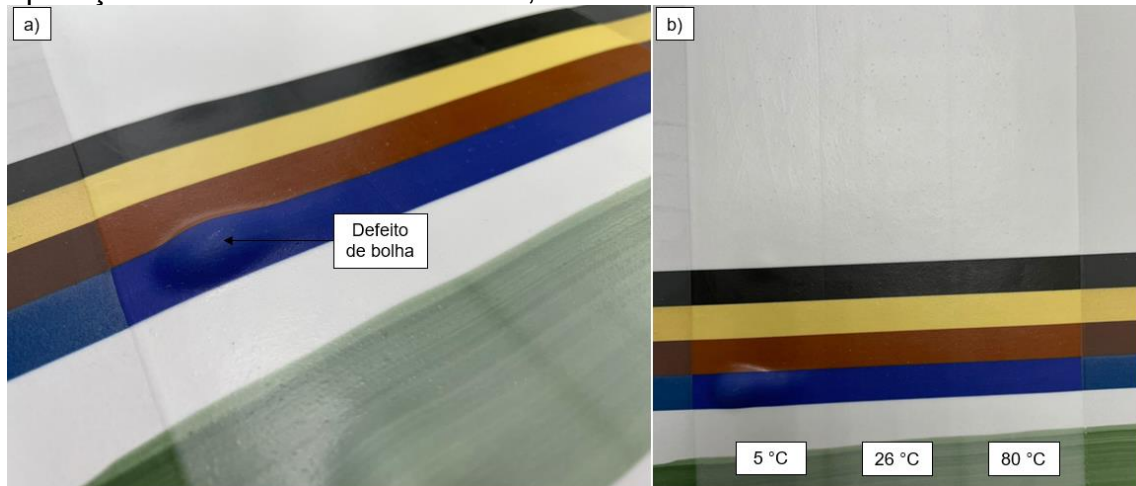
Tabela 6: Resultados obtidos da frita mate no espectrofotômetro.

Temperatura da água (°C)	Cor	$\Delta E$	$\Delta L$	$\Delta_a$	$\Delta_b$	Resultado
5	Preto	0,97	0,86	0,03	-0,45	Válido
	Amarelo	0,86	-0,21	-0,22	-0,80	Válido
	Marrom	0,20	0,13	-0,08	0,12	Válido
	Azul	1,28	0,33	-0,86	-0,88	Leitura não válida
80	Preto	0,79	-0,63	0,04	0,47	Válido
	Amarelo	0,22	-0,13	-0,02	-0,17	Válido
	Marrom	0,57	0,50	-0,24	0,12	Válido
	Azul	0,92	0,56	-0,65	0,32	Válido

Fonte: Da autora (2022).

Baseado no exposto, somente a frita resfriada em 5 °C e avaliada na cor azul não estava dentro do padrão de aceitação do equipamento de medida, isso devido a um defeito de bolha gerado após a queima da peça cerâmica, Fig. 12, impossibilitando a medição correta da cor. Esse defeito pode ter sido causado devido a um excesso de compactação da massa, incorreta curva de temperatura ocasionando um excesso de queima, excessiva quantidade de matéria orgânica, moagem ou peneiramento ineficaz deixando impurezas grossas na massa, como também, umidade mais alta no local em que houve a expansão (MARTÍN, 2004).

Figura 12: Avaliação de cor da frita mate. a) Defeito de bolha encontrado na massa do revestimento cerâmico após a queima. b) Avaliação visual da cor das aplicações das fritas resfriadas em 5, 26 e 80 °C.



Fonte: Da autora (2022).

Além disso, pode-se observar na Fig. 12 que na frita mate também não há mudança de cor significativa com o aumento da temperatura da água de resfriamento do vidrado.

Por fim, foi feito a avaliação das coordenadas cromáticas da peça em que continha as aplicações de frita transparente, os resultados obtidos nas medições com o espectrofotômetro constam na Tab. 7.

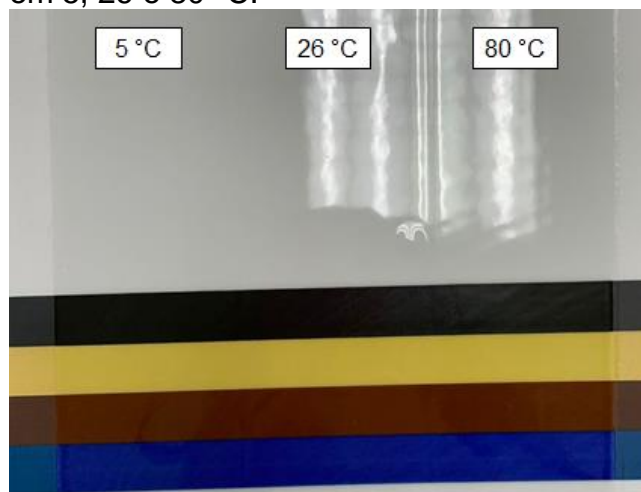
Tabela 7: Resultados obtidos da frita transparente no espectrofotômetro.

Temperatura da água (°C)	Cor	$\Delta E$	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	Resultado
5	Preto	0,71	-0,66	0,03	0,26	Válido
	Amarelo	0,10	-0,00	-0,10	0,01	Válido
	Marrom	0,29	0,01	0,05	0,28	Válido
	Azul	0,18	0,08	0,09	-0,13	Válido
80	Preto	0,21	0,20	0,02	-0,55	Válido
	Amarelo	0,33	-0,14	0,05	-0,29	Válido
	Marrom	0,36	-0,01	0,00	0,36	Válido
	Azul	0,97	0,4	0,63	-0,61	Válido

Fonte: Da autora (2022).

Nesse caso, pode-se afirmar que tanto nos valores quantitativos obtidos no método CIELAB quanto na percepção visual, Fig. 13, não há mudança com o aumento da temperatura da água de resfriamento do processo de fabricação de fritas cerâmicas transparentes.

Figura 13: Avaliação visual da cor das aplicações de frita transparente resfriadas em 5, 26 e 80 °C.



Fonte: Da autora (2022).

De modo geral, pode-se concluir que o desenvolvimento de cor das fritas cerâmicas de tipologia branca, mate e transparente não são afetados pelo aumento da temperatura da água de resfriamento. 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, algumas fritas por terem matérias-primas mais ricas em alguns componentes, permitem ou não o desenvolvimento de certas cores.

#### 4.5 BRILHO

O brilho de um revestimento cerâmico é caracterizado pela capacidade de reflexão. Quanto maior for a luz refletida em relação à incidente, mais brilhante será o vidro (FERNANDES; PAULIN FILHO; MORELLI, 2011). Essa capacidade de reflexão pode ser medida de forma quantitativa através de um brilhaômetro, equipamento utilizado devido à precisão com que fornece os resultados.

Com base nisso, os resultados em unidades de brilho (U.B.), provenientes das medidas realizadas nas peças cerâmicas que continham as aplicações de frita branca, mate e transparente constam na Tab. 8.

Tabela 8: Resultados obtidos das medidas de brilho dos esmaltes com brilhômetro.

Frita	Medição de brilho das amostras (U.B.)		
	5 °C	26 °C	80 °C
Branca	66,8	60,1	58,9
Mate	10,1	10,9	10,5
Transparente	95,8	94,9	95,6

Fonte: Da autora (2022).

Através do exposto, pode-se afirmar que o brilho das fritas mate e transparente não são sensíveis ao aumento da temperatura da água de resfriamento do vidro. Em contrapartida, nota-se que com o aumento dessa temperatura há uma diminuição no brilho da frita branca. Isso pode estar relacionado diretamente com os resultados de densificação, pois como foi visto anteriormente, quanto maior for a temperatura da água, maior é o percentual de dureza do grão de frita.

Se o grão da frita apresenta maior dureza, a tendência é de que na moagem haja uma maior resistência para moer o vidro, ficando mais material retido na peneira após o descarregamento das suspensões. Com isso, a suspensão terá um menor percentual de frita e conseqüentemente, maior proporção de caulim deixando a superfície com característica mais mate.

O caulim é comumente utilizado na formulação de produtos cerâmicos, pois é um excelente agente de suspensão e possui características elevadas de refratariedade, já que contém porcentagens de alumina superiores a 30% (ALMEIDA et al., 2011).

#### 4.6 OPACIDADE E TEXTURA

Neste estudo, como visto previamente, a opacidade foi avaliada pelo potencial de cobertura do vidro e a textura através da percepção tátil e visual. Em ambas as fritas estudadas, branca, mate e transparente, não foram evidenciadas mudanças de opacidade e textura com o aumento da temperatura da água de resfriamento, como pode ser visto na Fig. 11, Fig. 12 e Fig. 13.



## 5 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos nos experimentos realizados, foi possível observar que cada tipologia de frita, tal como, branca, mate e transparente, teve um comportamento diferente com o aumento da temperatura da água de resfriamento do processo de fusão em forno cadinho.

No ensaio de dureza, as três tipologias de frita em estudo obtiveram um maior percentual de dureza com o aumento da temperatura da água. Isto porque está relacionado diretamente com o princípio básico de fabricação de frita, em que quanto maior for o choque térmico da massa fundida com a água, maior é a fragmentação dos grânulos de vidro.

Em se tratando da fusibilidade dos vidrados, observou-se que a viscosidade de queima das fritas de tipologia mate e transparente não são influenciáveis pela temperatura da água de resfriamento. Em contrapartida, na frita branca notou-se que com o aumento da temperatura da água, há um aumento na viscosidade de queima da frita.

Essa alteração pode estar relacionada com a dureza da frita, pois com o aumento da temperatura da água de resfriamento há um aumento da dureza do grão de frita e conseqüentemente em um processo de moagem, como o do ensaio de fusibilidade, há uma maior resistência em moer o grão, deixando a suspensão com um maior tamanho de partícula. A partir disso, sugere-se que quanto maior a dureza, maior o tamanho de partículas e maior a fusibilidade da frita branca.

No ensaio de resistência química, observou-se que o ataque químico não é sensível ao aumento da temperatura da água de resfriamento da frita mate e transparente. Os resultados da frita branca ficaram inconclusivos, pois antes de completar o tempo de exposição da superfície cerâmica aos agentes químicos, a peça absorveu todas as soluções. Assim sendo, sugere-se testar em um trabalho futuro, a frita branca em outra base cerâmica, como por exemplo, uma monoporosa engobada, pois o engobe tem função impermeabilizante então irá impedir com que a massa cerâmica absorva os agentes químicos.

Nas características visuais e estéticas de cor, opacidade e textura das três tipologias em estudo, pode-se dizer que essas propriedades não são afetadas pelo aumento da temperatura da água de resfriamento. Com relação ao brilho, as

fritas mate e transparente não são sensíveis a variável temperatura de resfriamento. Ao contrário, nota-se que com o aumento dessa temperatura há uma diminuição no brilho da frita branca, ao qual pode estar relacionado com os resultados de densificação e composição química, pois como foi visto anteriormente, quanto maior for a temperatura da água, maior é o percentual de dureza do grão de frita.

De modo geral, pode-se concluir que a temperatura da água de resfriamento tem maior influência sobre a dureza do grão das fritas branca, mate e transparente e, o aumento do percentual desta propriedade pode gerar consequências no aumento da fusibilidade e redução do brilho da frita de tipologia branca. Além disso, cabe citar que em nível de processo industrial é mais viável economicamente trabalhar com uma temperatura ambiente de 26 °C, já que esta pode ser obtida facilmente no meio ambiente.

Como sugestão de trabalhos futuros, é sugerido comparar as fabricações e análises em escala laboratorial com a produção industrial de cada tipologia de frita, a fim de validar se os resultados se reproduzem.

## REFERÊNCIAS

ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica. **Cerâmica no Brasil**: coloríficos. Disponível em: <https://abceram.org.br/colorificios-2/>. Acesso em: 21 abr. 2022.

ALMEIDA, Gladis Maria de Barcellos *et al.* **Glossário de revestimento cerâmico**. 4. ed. São Paulo: Citrat, 2011. 90 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10545-13**: Placas cerâmicas: determinação da resistência química. 1 ed. Rio de Janeiro: 2020. 9 p.

BARREDA, Maria Fernanda Gazulla. **Estudio cinético de la disolución de componentes de una frita en medio acuoso**. 2005. 325 f. Tese (Doutorado em Ciências Químicas) - Universitat Jaume I de Castellón, Espanha, 2005. Disponível em: <https://www.tdx.cat/handle/10803/10388>. Acesso em: 15 maio 2022.

BRICEÑO, Juan Jesús Saniz; MERMA, David Ccala. **Formulación de una frita de baja temperatura para obtener un esmalte transparente a partir de material reciclado**. 130 f. TCC (Graduação) – Facultad de Ingeniería de Procesos, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, 2014. Disponível em: <https://rb.gy/d3nok4>. Acesso em: 22 maio 2022.

CARLOS, Elione Moura. **Efeito da adição de resíduo de scheelita no comportamento térmico-mecânico e reológico de argamassas para engobes cerâmicos**. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia

Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://rb.gy/os8hal>. Acesso em: 23 maio 2022.

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) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://rb.gy/xlqwmz>. Acesso em: 22 maio 2022.

DÍAZ, Gabriel Lizardo Vallejo. **Recuperación de calor de las paredes de un horno de producción de fritas cerámicas**. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Facultad de Minas, Departamento de Procesos y Energía, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2019. Disponível em: <https://rb.gy/6uuct3a>. Acesso em: 12 mar. 2022.

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, nov. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/65FLYzDYjs3dcLWpkxCVs6p/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 nov. 2022.

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, 2002.

HOTZA, Dachamir; OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. 2. Ed. rev. Florianópolis: Ed.UFSC, 2015.

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.

MARTÍN, Fernando Lucas. Processos Produtivos em Revestimentos Cerâmicos: variáveis de processo e possíveis causas de defeitos. **Cerâmica Industrial**, Castellón, Espanha, v. 9, n. 5/6, p. 7-20, set. 2004. Quadrimestral. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657207f8c9d6e028b46be/pdf/ci-9-5-587657207f8c9d6e028b46be.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2022.

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, 2009.

MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M. Análisis colorimétrico del extracto acuoso de hojas de teca. **Revista Árvore**, v.39, n.5, p.953-961. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v39n5/0100-6762-rarv-39-05-0953.pdf>

PEREIRA, Rita Rodrigues. **Implementação de protocolos de monitorização de parâmetros de qualidade em produtos e matérias primas de um colorífico**. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de Aveiro,

Aveiro, Portugal, 2018. Disponível em:

<https://ria.ua.pt/bitstream/10773/25693/1/Documento.pdf>. Acesso em: 22 maio 2022.

PRACIDELLI, Sebastião. Estudo dos esmaltes cerâmicos e engobes. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 13, n. 1-2, p. 8-20, 2008.

ROMERO, M.; ROBLA, J. L.; PADILLA, I.; GARCÍA-HIERRO, J.; LÓPEZ-DELGADO, A. 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: 15 maio 2022.

SÁNCHEZ, E. Matérias-Primas para a Fabricação de Fritas e Esmaltes Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, Castellón, Espanha, v. 2, n. 3-4, p. 32-40, 1997.

SCHABBACH, Luciana Maaccarini. **Formulação de fritas cerâmicas utilizando delineamento de misturas**. 1999. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: <https://rb.gy/lduyfy>. Acesso em: 22 maio 2022.

SCUR, Gabriela; GARCIA, Renato. Conhecimento e inovação em sistemas locais de produção de revestimentos cerâmicos e os novos desafios da concorrência internacional. **Produção**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 583-597, 2008. Trimestral. Disponível em: <https://rb.gy/hpk74u>. Acesso em: 21 abr. 2022.

SERPA, Elaine Cristina de Souza Neves. **Obtenção de fritas cerâmicas a partir de resíduo refratário proveniente do setor metalúrgico**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/90606/242643.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 out. 2022.

SETZ, Luiz Fernando Grespan; SILVA, Antonio Carlos da. **O processamento cerâmico sem mistério**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2019. 256 p.

TAMAYO, A.; RUBIO, F.; OTEO, J. L.; RUBIO, J. Influencia de la molienda em la 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: 15 maio 2022.

RENAU, Rafael Galindo. **Pastas y vidriados**: en la fabricación de pavimentos y revestimientos cerâmicos. Castellón: Faenza Editrice Ibérica S.L., 1994.

RICHERSON, David W.; LEE, William E. **Modern Ceramic Engineering**: properties, processing and use in design. 4. ed. New York, USA: CRC Press, 2018. 812 p.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por terem guiado os meus passos e me concedido à oportunidade de poder concluir a minha graduação em Engenharia Química. Aos meus pais, Geovane Teixeira e Giovana Boaventura Goulart Teixeira e irmã, Maria Eduarda Teixeira, por todo sacrifício, amor e dedicação. Aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e troca de experiências.

À instituição de ensino SATC e todos os professores que foram essenciais na minha formação acadêmica, em especial a minha orientadora Morgana Nuernberg Sartor Faraco, pela orientação, paciência e incentivo. À empresa em que desenvolvi o estudo e todos os meus colegas de trabalho que contribuíram de alguma forma, para a realização deste trabalho.