



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
STEFANY ZIMMERMANN MACHADO

**ESTUDO DO EFEITO DE ATAQUE QUÍMICO EM REVESTIMENTOS
CERÂMICOS ESMALTADOS: BRILHOSO COM E SEM POLIMENTO**

Tubarão

2019



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
STEFANY ZIMMERMANN MACHADO

**ESTUDO DO EFEITO DE ATAQUE QUÍMICO EM REVESTIMENTOS
CERÂMICOS ESMALTADOS: BRILHOSO COM E SEM POLIMNETO**

Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Prof. MSc. Maria Lúcia Soares Cochlar (Orientadora)

Prof. Dra. Jucilene Feltrin (Coorientadora)

Tubarão

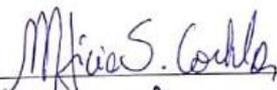
2019

STEFANY ZIMMERMANN MACHADO

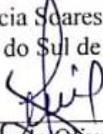
**ESTUDO DO EFEITO DE ATAQUE QUÍMICO EM REVESTIMENTOS
CERÂMICOS ESMALTADOS: BRILHOSO COM E SEM POLIMENTO**

Este relatório técnico/científico foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 27 de novembro de 2019.



Prof.^a MSc Maria Lúcia Soares Cochlar (Orientadora)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. MSc. Alessandro de Oliveira Limas (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Dr. Jair Juarez João (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, segundo aos meus pais, depois aos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me dado a dádiva da vida, por ter guiado meus passos, e por sempre ter cuidado de mim, em todos os momentos. Agradeço a Ele por essa tão sonhada oportunidade de poder concluir minha graduação em Engenharia Química.

Gostaria de agradecer aos meus pais, Cláudio e Ester, por desde sempre, terem me ensinado o que é certo ou errado, por sempre acreditarem em mim, e por terem sonhado junto comigo. Nem sempre foram momentos fáceis, mas sempre tiveram palavras de conforto e pensamento de que no amanhã tudo ficaria melhor, tudo que sou hoje, tudo que me tornei, devo única e exclusivamente a eles. Aproveito este parágrafo ainda, para agradecer aos meus irmãos e familiares, por todas as orações e apoio dedicados a mim, apenas uma palavra consegue resumir todo este sentimento, GRATIDÃO.

Agradeço, por nessa trilha acadêmica, Deus ter colocado pessoas em meu caminho, pessoas especiais, que foram importantes, estando presentes sempre nas horas boas e ruins, amigos que sempre levarei comigo dentro do coração.

Aos meus professores, desde a pré-escola até a graduação, profissionais de grande índole, o meu muito obrigada, por todo conhecimento fornecido, que com toda certeza, foram essências para a contribuição da minha formação escolar e acadêmica.

Os meus sinceros agradecimentos também as professoras Dra. Eng. Maria Lúcia Soares Cochlar (orientadora) e a Dra. Jucilene Feltrin (coorientadora), a experiência trocada foi importante para o desenvolvimento deste trabalho.

Não poderia deixar passar em branco, o meu agradecimento ao meu professor e orientador de pesquisa de iniciação científica, Dr. Eng. Jonathan Alexander Bork, por sempre ter acreditado na minha capacidade, e sempre ter dito que eu poderia ir além do que eu mesma imaginava, e por ter despertado este sentimento tão sublime pela pesquisa, não foi à toa que trabalhamos juntos, lado a lado, por quase 5 anos. Meu muito obrigada.

E por fim, agradeço ao Grupo TB Sul, mais precisamente a pessoa do Dr. Anselmo Parise Geraldí, o qual acreditou no meu potencial, permitindo-me o estágio, e conseqüentemente, ser orientada dentro da empresa, motivos estes, que foram cruciais para o meu crescimento pessoal e profissional.

“Sempre acreditei, confiei na minha fé. Ter fé não é contar com a sorte. É saber que quando a semente é boa, a colheita é forte.” (Gleudson BC).

RESUMO

Cerâmica é uma composição inorgânica, não metálica, realizada a partir de um tri axial composto por argila, que tem a função de dar a plasticidade a massa cerâmica, o quartzo, elemento refratário, com o objetivo de suportar altas temperaturas e o feldspato, substância fundente, a fim de aumentar a fusibilidade. Juntos, estes argilominerais e minerais acessórios formam peças cerâmicas, após passar pelo processo de dosagem, moagem, atomização, prensagem, secagem, sinterização, acabamento e classificação. Os revestimentos cerâmicos, com o passar do tempo, sofrem desgaste em sua superfície esmaltada devido ao uso, ficando, desta forma, mais sensíveis aos produtos para sua higienização. Neste contexto, dentre os ensaios químicos e físicos realizados em laboratório de produto acabado em uma indústria de revestimentos cerâmicos, é realizado o teste de ataque químico, que tem a função de avaliar a capacidade da superfície do revestimento cerâmico se manter intacta quando submetida aos agentes químicos especificados nas normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR (Norma Brasileira) 13818 de 1997 e ABNT NBR 15463 de 2013. Os ensaios realizados mostraram que, superfícies de revestimentos cerâmicos compostas por granilha estão mais sujeitas ao ataque químico comparado as superfícies compostas por esmalte. Dentro deste resultado, existem fatores que foram correlacionados em pesquisas bibliográficas, que interferiram direta e indiretamente no teste de ataque químico, sendo eles, a composição, granulometria e aplicação, que afetaram os resultados de modo direto e, a temperatura, ciclo de sinterização e polimento, que influenciou os resultados de modo indireto. Não há a possibilidade de evitar o ataque químico, pois é um processo que não pode ser modificado, necessita-se de toda a metodologia para alcançar os aspectos técnicos e estéticos desejados, mas como varia muito de empresa para empresa, o tamanho do forno, a temperatura e ciclo de sinterização, o tipo de fornecedor do esmalte e da granilha, as matérias primas utilizadas no beneficiamento do esmalte, para futuros trabalhos, sugere-se um levantamento desses dados para verificar a influência no ataque químico.

Palavras-chave: Ataque químico. Granilha. Esmalte.

ABSTRACT

Ceramics is an inorganic, non-metallic composition, performed from a triple axial composed of clay, which has a function of plastic mass ceramic, quartz, the refractory element, with the aim of temporary high statistics and feldspar, flux substance, responsible to increase fuse. Together these clay minerals and accessory minerals form ceramic pieces after undergoing the dosing, grinding, atomizing, pressing, drying, finishing and grading process. Over time, ceramic tiles wear on their enamelled surface due to use and thus remain more caused by the products in which they are subject to sanitation. In this context, among clinical and physical trials performed in the laboratory of finished products in a ceramic tile industry, a chemical attack is performed or tested, which has the function of assessing the surface capacity of the ceramic tile and keeping it intact when subjected to agents. chemicals in the ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) standards NBR (Brazilian Standard) 13818 of 1997 and ABNT NBR 15463 of 2013. The trials test that, classic ceramic coating coatings composed of granules and more subject to harmful chemicals as substances chemicals used by enamel. Within this result, there are factors that were correlated in bibliographic research, which directly and indirectly interfered in the chemical attack test, which were a composition, grain size and application, which affected the results of the direct mode and a temperature, sintering cycle and polishing, which influenced the results indirectly. There is no possibility of avoiding chemical attack, as it is a process that cannot be modified, using the entire methodology to achieve the desired technical and aesthetic aspects, but as very variable from company to company due to a set of factors such as size of the furnace, temperature and sintering cycle, type of enamel and grit supplier, as chemicals used in enamel processing, for future work, uses a test of these data to verify their intensity.

Keywords: Chemical attack. Grit. Enamel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do Processo Produtivo	20
Figura 2 – Processo de Atomização	24
Figura 3 – Representação Esquemática da Formação dos Grãos	25
Figura 4 – Prensagem Uniaxial	26
Figura 5 – Retirada da Camada Superficial.....	32
Figura 6 – Micrografia de uma Peça de Revestimento Cerâmico	36
Figura 7- Micrografia da Superfície de um Esmalte Brilhante Atacado Quimicamente.....	37
Figura 8 – Revestimento Cerâmico Sensível ao Produto de Limpeza	37
Figura 11- Procedimento Sistemático de Classificação em Revestimentos Cerâmicos.....	43
Figura 12 – Teste de Ataque Químico.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Rampa de Sinterização Monoporosa.....	29
Gráfico 2 – Rampa de Sinterização Porcelanato	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição das Argilas	17
Tabela 2 – Fundentes mais Comuns	18
Tabela 3 – Refratários Especiais	19
Tabela 4 – Composição Monoporosa	21
Tabela 5 – Composição Porcelanato	22
Tabela 6 – Dados Retirados do Forno de Sinterização Monoporosa	28
Tabela 7 – Dados Retirados do Forno de Sinterização Porcelanato.....	30
Tabela 8 – Composição das Fritas Cerâmicas	34
Tabela 9 - Classificação e Requisitos Técnicos para Produto Acabado Prescritos pela Norma NBR 13818.....	39
Tabela 10 - Classificação e Requisitos Técnicos para Porcelanato Prescritos pela Norma NBR 15463	40
Tabela 11 – Codificações dos Níveis de Resistência Química.....	41
Tabela 12 – Classificação dos Reagentes Químicos e seus Respetivos Tempo de Ataque....	42
Tabela 13 – Resultados Obtidos Através do Teste de Ataque Químico.....	48
Tabela 14 - Classificação do Revestimento Cerâmico Esmaltados com e sem Polimento	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	13
1.2	HIPÓTESES	14
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.1.1	Objetivos Específicos	15
1.4	RELEVÂNCIA PARA A SUSTENTABILIDADE, SOCIEDADE E CIÊNCIA.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTO CERÂMICO.....	16
2.1.1	Matérias Primas	16
2.1.1.1	Argila.....	16
2.1.1.2	Feldspato.....	17
2.1.1.3	Quartzo	18
2.1.2	O Processo de Fabricação Via Úmida	19
2.1.2.1	Preparação da Massa	20
2.1.2.1.1	<i>Massa Monoporosa</i>	<i>21</i>
2.1.2.1.2	<i>Massa de Porcelanato</i>	<i>22</i>
2.1.2.2	Atomização.....	23
2.1.2.3	Prensagem.....	25
2.1.2.4	Esmaltação.....	26
2.1.2.5	Decoração	27
2.1.2.6	Sinterização	27
2.1.2.6.1	<i>Sinterização em Massa Monoporosa.....</i>	<i>27</i>
2.1.2.6.2	<i>Sinterização em Massa de Porcelanato.....</i>	<i>29</i>
2.1.2.7	Escolha	31
2.1.2.8	Polimento.....	32
2.1.2.9	Retífica	32
2.2	ESMALTE E GRANILHA PARA REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	32
2.2.1	Fritas Cerâmicas	33
2.2.2	Granilha	34
2.2.3	Esmalte	35

2.3	A OCORRÊNCIA DO ATAQUE QUÍMICO.....	36
2.4	NORMAS VIGENTES.....	38
2.4.1	ABNT NBR 13818.....	38
2.4.2	ABNT NBR 15463.....	39
2.4.3	Junção das Normas para o Teste de Ataque Químico.....	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1	AS PESQUISAS CIENTÍFICAS.....	44
3.2	O ESTUDO APLICADO.....	44
3.3	HISTÓRICO DO PROCESSO.....	46
3.3.1	Teste de Ataque Químico.....	46
3.4	ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	48
3.4.1	Teste de Ataque Químico.....	48
3.4.1.1	Fatores que Interferem Diretamente no Teste de Ataque Químico.....	50
3.4.1.1.1	<i>Composição.....</i>	<i>50</i>
3.4.1.1.2	<i>Granulometria.....</i>	<i>51</i>
3.4.1.1.3	<i>Aplicação.....</i>	<i>51</i>
3.4.1.2	Fatores que interferem indiretamente no Teste de Ataque Químico.....	51
3.4.1.2.1	<i>Temperatura e Ciclo de Sinterização.....</i>	<i>51</i>
3.4.1.2.2	<i>Polimento.....</i>	<i>53</i>
4	CONCLUSÃO.....	54
4.1	TRABALHOS FUTUROS.....	55
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Dentro da cerâmica de revestimento, existem os revestimentos monoporosos e os revestimentos porcelanatos. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a norma brasileira (NBR) 13818 de 1997, determina que os revestimentos monoporosos tenham uma absorção de água $\geq 10\%$, conseqüentemente, uma resistência mecânica $\geq 600\text{N}$, logo, são peças fabricadas exclusivamente para paredes, não podendo ser utilizada em piso devido à alta porosidade e a baixa resistência. Já para os revestimentos porcelanatos, as normas ABNT NBR 15463 de 2013 e a ABNT NBR 13818 de 1997, determinam que estes tipos de revestimentos tenham uma absorção de água $\leq 0,5\%$, conseqüentemente, uma resistência mecânica $\geq 1500\text{N}$, logo, são peças fabricadas exclusivamente para os pisos devido à baixa porosidade e a alta resistência.

O acabamento superficial que cada revestimento recebe varia de acordo com o produto final que se deseja obter, revestimentos monoporosos recebem, no processo de esmaltação, apenas o esmalte por via úmida e não são polidos. Já os revestimentos porcelanatos recebem, no processo de esmaltação, o esmalte por via úmida que também não são polidos, ou então, o esmalte por via seca (granilha) e são polidos.

Os ensaios físicos e químicos realizados em um laboratório de produto acabado em uma indústria de revestimento cerâmico são retirados das normas ABNT NBR 13818 de 1997 e ABNT NBR 15463 de 2013, onde, encontram-se os testes de absorção de água, carga de ruptura e módulo de resistência à flexão, resistência a brasão superficial, resistência a abrasão profunda, resistência ao gretamento, resistência ao manchamento, resistência ao ataque químico, o qual será foco deste presente trabalho, dentre outros ensaios.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

A existência da cerâmica vem desde os primórdios do homem na terra, onde eram produzidos, manualmente, artefatos a base de argila e água. Com a evolução da humanidade, essa cultura de produção manual foi ganhando cada vez mais espaço, surgindo então, as olarias, onde o homem continuava produzindo seus vasos e jarros manualmente, mas com o auxílio de uma roda feita a partir da madeira, onde o movimento desta era necessário para dar origem ao objeto desejado. Atualmente ainda existem lugares, como no nordeste do Brasil, por exemplo, que mantém esta cultura de fabricação.

Após anos, o avanço da tecnologia trouxe novos métodos para o desenvolvimento do processo de fabricação da cerâmica, devido as propriedades físicas e químicas da composição, dando uma abrangência e visibilidade para este setor. O que antigamente era conhecido só por vasos e jarros, hoje pode ser subdividido em cerâmica vermelha, cerâmica branca, cerâmica de revestimento, materiais refratários, cimento, dentre outros. O presente trabalho terá o foco em materiais de revestimentos cerâmicos.

As análises laboratoriais de uma peça de revestimento cerâmico são de suma importância, pois, além de verificar a qualidade, certifica-se também se o produto acabado se enquadra dentro das normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR (Norma Brasileira) 13818 e a ABNT NBR 15463, conseqüentemente classificando-o como A ou extra, B ou comercial e C ou popular.

Tendo em vista que um dos ensaios realizados no laboratório de uma indústria cerâmica de revestimento é o ataque químico, pode-se ter como principal indagação: **Qual o resultado e as diferenças de um ataque químico a peças esmaltadas, com brilho polido e sem polimento que permita o atendimento aos parâmetros legais? Em estudo realizado na cidade de Tubarão/SC, no ano de 2019.**

1.2 HIPÓTESES

- a) Esmaltes com granulometria menor, apresentam maior reatividade na sinterização, portanto, maior eficiência ao teste de ataque químico.
- b) A granilha, que contém granulometria maior, apresenta menor reatividade na sinterização, portanto, menor eficiência ao teste de ataque químico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o efeito do ensaio laboratorial de ataque químico em peças de revestimento cerâmico esmaltado, com polimento e sem polimento.

1.3.1.1 Objetivos Específicos

- a) Descrever o processo de uma indústria e revestimento cerâmico.
- b) Estabelecer a diferença entre esmalte e granilha.
- c) Identificar a forma como ocorre o ataque químico.
- d) Avaliar a adequação dos materiais testados diante das normas existentes.

1.4 RELEVÂNCIA PARA A SUSTENTABILIDADE, SOCIEDADE E CIÊNCIA

A proposta executada de estudar o efeito do ensaio laboratorial de ataque químico em peças de revestimento cerâmicos esmaltados, constituiu-se em estudo científico que poderá subsidiar discussões acadêmicas além de constituir-se em subsídio para empresas do setor de revestimentos cerâmicos. Essa descrição caracteriza a relevância científica do estudo.

Inobstante o descrito, a análise da resistência de materiais a ataques de reagentes químicos ácidos, básicos e salinos seguida de resultados que orientam a um novo processo, com materiais mais resistentes define a preocupação com a sustentabilidade quando oferece ao mercado consumidor, produtos mais resistentes e duráveis, evitando a substituição que, por si só, gera resíduos que podem agredir o meio ambiente. Simultaneamente surge a importância para a sociedade que passa a receber produtos de maior qualidade e com ciclo de vida aumentado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTO CERÂMICO

2.1.1 Matérias Primas

As matérias primas bases que compõem a formulação de uma massa para o revestimento cerâmico são: argila, o quartzo e o feldspato.

A seguir, uma breve descrição sobre cada uma.

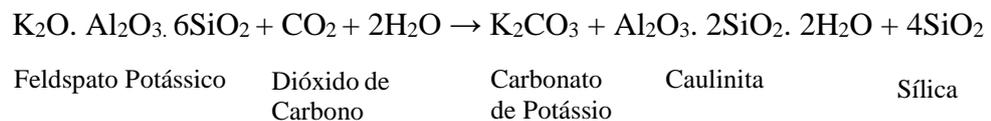
2.1.1.1 Argila

A principal matéria prima de uma composição cerâmica é a argila, pois é ela quem determina a plasticidade do material.

As argilas são alumino silicatos compostas por alumina (Al_2O_3) e sílica (SiO_2) e que contêm água quimicamente ligada. Elas possuem uma ampla faixa de características físicas, composições químicas e estruturas; as impurezas mais comuns incluem compostos (geralmente óxidos) à base de bário, cálcio, sódio, potássio e ferro, e ainda alguma matéria orgânica. (CALLISTER, 2008, p.346).

A formação das argilas ocorre através da decomposição das rochas ricas em feldspato, provocada pela ação química da água, do dióxido de carbono (CO_2) e pelos fatores climáticos. Esse conjunto de ações provocam o intemperismo. (MODESTO; JÚNIOR, 2001).

A reação química encontra-se descrita a baixo:



Na Tabela 1, apresentada a seguir, segue a composição da argila com seus respectivos argilominerais e minerais acessórios:

Tabela 1- Composição das Argilas

Argilomineral	Minerais Acessórios
Caulinita	Quartzo
Haloisita	Feldspato
Ilita	Minerais de Ferro
Montmorilonita	Carbonatos
Clorita	Micas não hidratadas
Sepiolita	Fluoretos
Interestratificados	Sais Solúveis/ Matéria Orgânica

Fonte: da autora, 2019, adaptado de Boschi; Melchiades, 2005, [s.p.].

Com a composição das argilas apresentadas na Tabela 1, pode-se dizer que, a argila é a soma de argilominerais com os minerais acessórios, ou seja, a argila é refratária porque contém o quartzo e alumina, e fundente porque contém os metais alcalinos e alcalino terrosos.

2.1.1.2 Feldspato

Existem três tipos de feldspatos, os potássicos ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), os sódicos ($Na_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) e os cálcicos ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$). Um percentual considerável deste elemento já pode vir nas argilas, dependendo das condições em que a jazida se encontra, e também pode ser adicionado a formulação da massa, conforme necessidade. (SHREVE; BRINK, 2008).

Tradicionalmente, na fabricação de cerâmica de revestimento são utilizados como fundentes feldspatos e/ ou feldspatoídes sódicos ou potássicos. Convém salientar que as próprias argilas, além da sua função plastificante, dependendo da sua natureza mineralógica, como no caso das argilas ilíticas e/ou carbonáticas, podem exercer uma forte ação fundente. Outros minerais, como carbonatos de cálcio (calcitas) e/ou magnésio (dolomitas) e até subprodutos de mineração, são, com certa frequência, utilizados como fundentes. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015, p. 33).

O feldspato é de grande importância para a formulação de materiais cerâmicos, pois, é este material que determina a fusibilidade da peça de revestimento cerâmico, diminuindo a absorção de água e conseqüentemente aumentando a resistência mecânica.

Na Tabela 2, apresentada a seguir, segue alguns dos fundentes mais comuns:

Tabela 2 – Fundentes mais Comuns

Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	Fluorita (CaF_2)
Ácido Bórico (H_3BO_3)	Criolita (Na_3AlF_6)
Barrilha (Na_2CO_3)	Óxidos de Ferro
Nitrato de Sódio (NaNO_3)	Óxidos de Antimônio
Perlasso (K_2CO_3)	Óxidos de Chumbo
Nefelino Sienito	Óxido de Lítio
Ossos Calcinados	Óxidos de Bário
Apatita [$\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3$]	

Fonte: da autora, 2019, adaptado de Shreve; Brink, 2008, p. 124.

Com os fundentes para a indústria cerâmicas apresentados na Tabela 2, pode-se dizer que, dependendo da formulação do produto cerâmico a ser fabricado, utiliza-se esses materiais com maior ou menor quantidade em percentual mássico.

2.1.1.3 Quartzo

O quartzo, material refratário, é uma matéria prima de suma importância, pois apresenta como função ajustar o coeficiente de expansão térmica da peça de revestimento cerâmico. (OLIVEIRA, 2000).

As principais matérias-primas refratárias e tradicionalmente utilizadas na fabricação de cerâmicas de revestimento são os quartzos e os quartzitos, todos com relativamente elevados teores de sílica (85 a 96% em média). (OLIVEIRA; HOTZA, 2015, p. 33).

Observa-se que a primazia da fabricação cerâmica é a manutenção do estado da arte, ou seja, a atualização em todo processo em função da dinamicidade com que ele ocorre atualmente. Dessa forma os quartzos e quartzitos, por apresentarem teores elevados de sílica constituem-se na matéria prima mais atual e adequada para esse ramo industrial.

Na Tabela 3, apresentada a seguir, segue alguns dos refratários especiais:

Tabela 3 – Refratários Especiais

Alumina (Al_2O_3)	Zircônia (ZrO_2)
Olivina [$(\text{FeO} \cdot \text{MgO})_2\text{SiO}_2$]	Titânia (TiO_2)
Cromita ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$)	Silicatos de Magnésio
Silicatos de Alumínio ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)	Carborundo (SiC)
Dumotierita ($8\text{Al}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	Mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)
Magnesita (MgCO_3)	Dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]
Cal (CaO)	Tória (ThO_2)
Calcário (CaCO_3)	

Fonte: da autora, 2019, adaptado de Shreve; Brink, 2008, p.124.

Com os refratários para a indústria cerâmica apresentada na Tabela 3, pode-se dizer que, dependendo da formulação do produto cerâmico a ser fabricado, utiliza-se esses materiais com maior ou menor quantidade em percentual mássico.

2.1.2 O Processo de Fabricação Via Úmida

Como todo processo produtivo, a fabricação de revestimentos cerâmicos por via úmida apresenta suas vantagens e desvantagens. Pode-se destacar como as principais vantagens a maior homogeneidade entre as matérias primas, ou seja, os componentes se misturam com maior facilidade, a obtenção de uma granulometria menor o controle de variáveis durante o processo, obtendo deste modo, um produto com qualidade melhor. Como principais desvantagens se tem os custos com os equipamentos e com o processo. (MODESTO; JÚNIOR, 2001).

Na Figura 1, apresentada a seguir, segue o fluxograma do processo produtivo de uma indústria de revestimentos cerâmicos via úmida:

Figura 1 – Fluxograma do Processo Produtivo



Fonte: da autora, 2019.

Com o fluxograma apresentado na Figura 1, pode-se dizer que, o processo de fabricação de um revestimento cerâmico via úmida começa desde a extração das matérias primas, passando por todo um processo de dosagem, moagem, atomização, prensagem, esmaltação, decoração, sinterização, escolha, polimento, retífica, até chegar a expedição do produto acabado.

2.1.2.1 Preparação da Massa

Dosa-se cada matéria prima em balança, logo após são direcionadas para o moinho de bolas com água e com o agente químico defloculante silicato de sódio, que tem a função de unir as partículas. Dependendo da formulação da massa, esse processo de moagem dura entre 3 e 5 horas até os parâmetros como percentual de resíduo, densidade, viscosidade estarem estabilizados de acordo com a normatização.

Na indústria cerâmica, o principal objetivo do processo de moagem é a redução do tamanho das partículas das matérias-primas através da ação dos corpos moedores, que normalmente é realizada em moinhos de bolas de alta alumina. O impacto e o atrito provocados entre os corpos moedores e as paredes internas sobre as matérias-primas promovem a cominuição das partículas. (NANDI; MONTEDO, 2009, p.24).

Após a moagem, a suspensão de particulados formada, denominada barbotina, é submetida a tanques submersos para completa homogeneização por um período de 24 horas.

2.1.2.1.1 Massa Monoporosa

Na Tabela 4, apresentada a seguir, segue a composição, em percentual mássico, de um revestimento cerâmico feito a partir da massa monoporosa:

Tabela 4 – Composição Monoporosa

Matérias Primas	Composição Química (%massa)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P.F
Argilas Carbonáticas	55	12	1	0,5	0,1	1	8	1	12
Argilas Gresificáveis	60	15	2	1	0,1	3	1	0,5	6
Argilas Plásticas	55	22	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	6
Argilas Cauliníticas	50	25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	7
Areias Feldspáticas	80	9	2	1	1	1	1	0,5	2
Quartzo	92	2	0,1	0,1	0,5	1	0,5	0,5	1
Calcita	2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	46	2	40

Fonte: da autora, 2019, adaptado de Oliveira; Hotza, 2015, p.57.

Onde P.F = Perda ao fogo.

Com a composição apresentada na Tabela 4, pode-se dizer que são as matérias primas utilizadas na formulação da massa de revestimento monoporosa, ou seja, a formulação química utilizada em azulejos de parede.

A seguir, apresentar-se-á, de uma forma geral, cada uma dessas matérias primas dentro de seus respectivos grupos, matérias primas plásticas, que envolve as argilas carbonáticas, argilas gresificáveis e as argilas plásticas, e as matérias primas não plásticas, que envolve as areias feldspáticas, o quartzo e a calcita.

2.1.2.1.1.1 Matérias Primas Plásticas

As argilas carbonáticas apresentam em sua composição ilita, onde, as fases mineralógicas podem-se subdividir em íltico-cloríticas e íltico-cauliníticas. Este tipo de argila ajuda na plasticidade da massa cerâmica. Argilas gresificáveis são livres de carbonatos, a fase mineralógica pode ser íltico-clorítico, e também, tem a função de ajudar na plasticidade.

Argilas plásticas, ou, brancas, dão origem a materiais de coloração branca, a matriz é caulínica, pouco ílítica. Argilas caulínicas apresentam refratariedade, conseqüentemente baixa plasticidade. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

2.1.2.1.1.2 *Matérias Primas não Plásticas*

O feldspato utilizado na composição de massa monoporosa são os potássicos, pois, apresentam menor reatividade comparados aos sódicos, tendo como contribuição, a redução do coeficiente de expansão térmica da massa cerâmica. O quartzo também contribui para a redução do coeficiente de expansão térmica. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

2.1.2.1.2 *Massa de Porcelanato*

Na Tabela 5, apresentada a seguir, segue a composição, em percentual mássico, de um revestimento cerâmico feito a partir da massa de porcelanato:

Tabela 5 – Composição Porcelanato

Matérias Primas	Composição Química (%massa)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P.F
Caulim	49	36	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	12
Argila Plástica	64	25	1,5	0,6	0,3	0,4	0,6	0,5	7
Feldspato	70	19	1,2	7	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5
Quartzo	98	0,8	*	0,2	*	0,3	0,1	0,2	0,2
Talco	51	8	0,2	*	0,3	0,6	0,3	30	7

Fonte: da autora, 2019, adaptado de Oliveira; Hotza, 2015, p.104.

Onde P.F = Perda ao fogo.

Com a composição apresentada na Tabela 5, pode-se dizer que, são as matérias primas utilizadas na formulação da massa de revestimento de porcelanato, ou seja, a formulação química utilizada em pisos.

Vale lembrar, que essas matérias primas já foram discutidas, de uma forma geral, nos itens 2.1.2.1.1 e 2.1.2.1.2.

2.1.2.2 Atomização

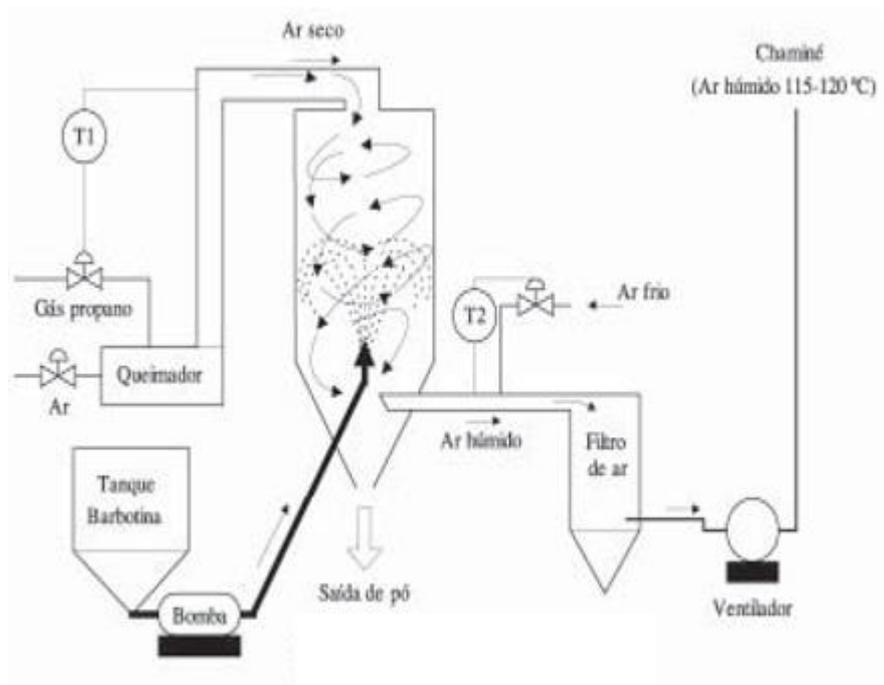
O atomizador é uma câmara de ar quente, que apresenta uma temperatura em torno de 900°C para pulverizar a barbotina. A barbotina que se encontra dentro dos tanques de homogeneização é levada para o atomizador através de bombas pistão. Dentro deste equipamento existem esguichos que tem a finalidade de pulverizar a barbotina de forma ascendente, com o choque do calor, a água presente na suspensão cerâmica evapora e forma os grânulos, ou o pó atomizado, que em seguida, são transportados para os silos para completa uniformização da umidade por um período de aproximadamente 24 horas.

A atomização consiste na transformação de uma suspensão aquosa de partículas sólidas em partículas secas, a partir da pulverização da suspensão no interior de uma câmara aquecida (atomizador). O produto resultante pode ser constituído por pó, grânulos ou aglomerado de grânulos mais pequenos. A forma destas partículas depende muito das propriedades físicas e químicas da suspensão, das características do atomizador e das condições de operação. (RIBEIRO; VENTURA; LABRINCHA, 2001, p. 34).

A atomização é o processo que ocorre antes da prensagem. É indispensável no processo de fabricação de revestimento cerâmico, pois, é no atomizador, que a suspensão líquida, se transforma em uma suspensão sólida, com um teor de umidade considerável para homogeneização, para posterior prensagem. As propriedades físicas e químicas que influenciam neste processo são o teor de sólidos, densidade, viscosidade, relacionados a barbotina e a pressão, diâmetro do bico, temperatura e vazão, relacionados ao atomizador.

Na Figura 2, apresentada a seguir, segue o esquema do processo de atomização:

Figura 2 – Processo de Atomização

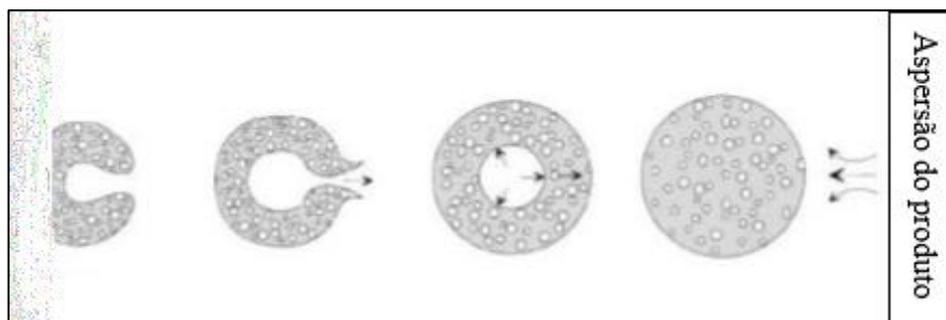


Fonte: Ribeiro; Ventura; Labrincha, 2001, p.37.

Com o processo de atomização apresentado na Figura 2, pode-se dizer que, o atomizador é acoplado a um queimador, que contém o controle de fluxo de gás e ar, e, acoplado também a um filtro de ar. Quando a bomba leva a barbotina para o atomizador, há bastante pressão, com esta pressão as gotículas vão percorrendo todo o atomizador até serem vencidas pela ação da gravidade, juntamente com a ação do fluxo do gás de secagem que vem do queimador. Em um primeiro momento o fluxo é contracorrente, pois a barbotina vem de baixo e o fluxo de ar quente vem de cima, quando as gotículas atingem uma certa altura o fluxo passa a ser co-corrente, pois atingem a mesma direção, pode-se então dizer, que o fluxo do atomizador, neste caso, é misto. Após este processo, os grãos atomizados são recolhidos, os que apresentam granulometria maior, são levados, pela ação da gravidade, na saída do próprio atomizador, já aqueles que apresentam menor granulometria, que são muito finos, são arrastados, pelo gás de secagem, até os filtros de ar. (AQUINO, 2015).

Na Figura 3, apresentada a seguir, segue a representação esquemática da evolução da atomização de um grão cerâmico:

Figura 3 – Representação Esquemática da Formação dos Grãos



Fonte: Werner; Petrovick, 2010, *apud* Aquino, 2015, p.39.

Com a representação esquemática da formação de grãos na Figura 3, pode-se dizer que, a evolução da atomização no grão cerâmico. Em um primeiro momento, logo após a bomba levar a barbotina para dentro do atomizador, e ocorrer a aspersão, há a formação de gotículas, em um segundo momento, ocorre a evaporação do líquido devido ao calor do atomizador, em torno de 900°C, logo, forma-se uma esfera oca, em seguida, a esfera “explode” devido a intensidade da pressão provocada ao longo do caminho percorrido, e, por fim, a formação dos grãos de barbotina seca. (RIBEIRO 2001, *apud* AQUINO, 2015).

2.1.2.3 Prensagem

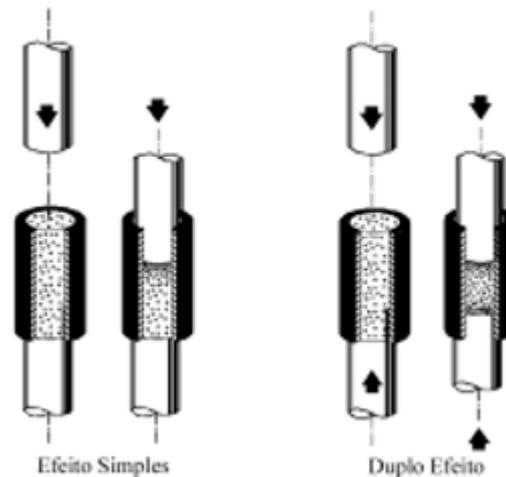
Após o período de 24 horas em que os grãos atomizados ou a massa atomizada, são homogeneizados, passam pelo processo de prensagem. É importante estabilizar a umidade antes da prensa, pois, a massa não pode estar totalmente seca, se não, não há como obter uma moldagem através da compactação, e também, não pode estar com teor de umidade elevado, pois, da mesma forma que no caso anterior, a moldagem através da compactação, não terá estabilidade para percorrer todo o processo até a sinterização .

Distinguem-se duas grandes modalidades de prensagem: a prensagem uniaxial e a prensagem isostática. Na primeira, a compactação do pó se realiza em uma matriz rígida, por aplicação de pressão na direção axial, através de punções rígidos. É utilizada para conformar peças que não apresentam relevo superficial na direção de prensagem. Se a espessura da peça que se deseja obter é pequena e sua geometria é simples, a carga pode ser aplicada em apenas um sentido. (ALBERO, 2000, p. 23).

Na empresa, utiliza-se a prensagem uniaxial devido ao seu baixo custo comparado com a prensagem isostática e, também, devido ao fato de que na prensagem isostática, a pressão exercida é dividida, de forma uniforme, sobre toda a peça, em quanto que na uniaxial, a pressão exercida se propaga em uma única direção.

Na Figura 4, apresentada a seguir, segue a representação esquemática da prensagem uniaxial:

Figura 4 – Prensagem Uniaxial



Fonte: Albero, 2000, p.24.

Com a prensagem uniaxial apresentada na Figura 4, pode-se dizer que, a massa atomizada é transportada para a prensagem, através de esteiras, então, acomodada em molde de material polimérico. Após a introdução da massa, o molde é fechado automaticamente, e introduzido a uma câmara que contém um fluído, geralmente óleo, este fluído é comprimido, logo, exerce alta pressão sobre o molde, dando origem ao formato das peças de revestimento cerâmico. O efeito simples da prensa uniaxial é utilizado para peças de geometria simples e sem relevo, já o efeito duplo é utilizado pra peças de geometria complexa com relevo.

2.1.2.4 Esmaltação

Após a prensagem, as peças passam por um secador, com temperatura em torno de 200°C, para retirada completa da umidade, em seguida, seguindo ao processo de esmaltação, onde receberá uma camada de engobe e uma camada de esmalte.

Neste trabalho, abordar-se-á mais sobre a esmaltação no item 2.2.

2.1.2.5 Decoração

Após o processo de esmaltação, onde a peça cerâmica ainda “crua”, receberá o engobe, esmalte, granilhas, insumos, dependendo da tipologia do produto desejado, irá para o processo de decoração, aplicado por meio de impressão *full HD*. As vantagens de se utilizar este tipo de tecnologia é a grande variação de desenho e coloração, alinhada a alta definição e possibilidade de relevo.

2.1.2.6 Sinterização

2.1.2.6.1 Sinterização em Massa Monoporosa

Como na dosagem a massa monoporosa recebe maior porcentagem de materiais refratários, no processo de sinterização não há formação de fase líquida, pois, apresenta ponto de fusão relativamente alto, conseqüentemente os poros da peça cerâmica ficam abertos, aumentando a absorção de água, diminuindo a retração e a resistência mecânica do produto final.

A rápida evolução da tecnologia de fabricação de revestimentos porosos em uma única queima trouxe benefícios de ordem técnica. As formulações atuais permitem o uso de várias matérias primas que quando misturadas têm o compromisso de permitirem a formação de fases cristalinas compostas com alumino-silicatos de cálcio e/ou magnésio durante a queima. Estas fases cerâmicas obtidas a altas temperaturas são as principais responsáveis pelas propriedades tecnológicas do produto final. (BARBA; FELIÚ; GARCIA, 1997, *apud* SOUSA; HOLANDA, 2005, p.1-2).

A sinterização é a parte final do processo de produção de uma peça de revestimento cerâmico, após este processo, somente serão realizados os acabamentos para deixar a peça pronta para a expedição, por este motivo, é de grande importância o controle do ciclo, pois em se tratar de uma massa monoporosa, a temperatura deve permitir a evolução das reações entre os componentes, obtendo, deste modo, as características do produto final. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

Na Tabela 6, apresentada a seguir, segue os dados retirados do forno de sinterização da monoporosa:

Tabela 6 – Dados Retirados do Forno de Sinterização Monoporosa

Espaço Percorrido (m)	Temperatura Real Rampa de Baixo °C	Temperatura Real Rampa de Cima °C
0	540	*
6	640	*
12	740	*
18	840	*
24	920	920
30	1020	1019
36	1080	1092
42	1164	1147
48	1164	1147
54	1050	1045
60	*	762
66	*	585
72	*	535

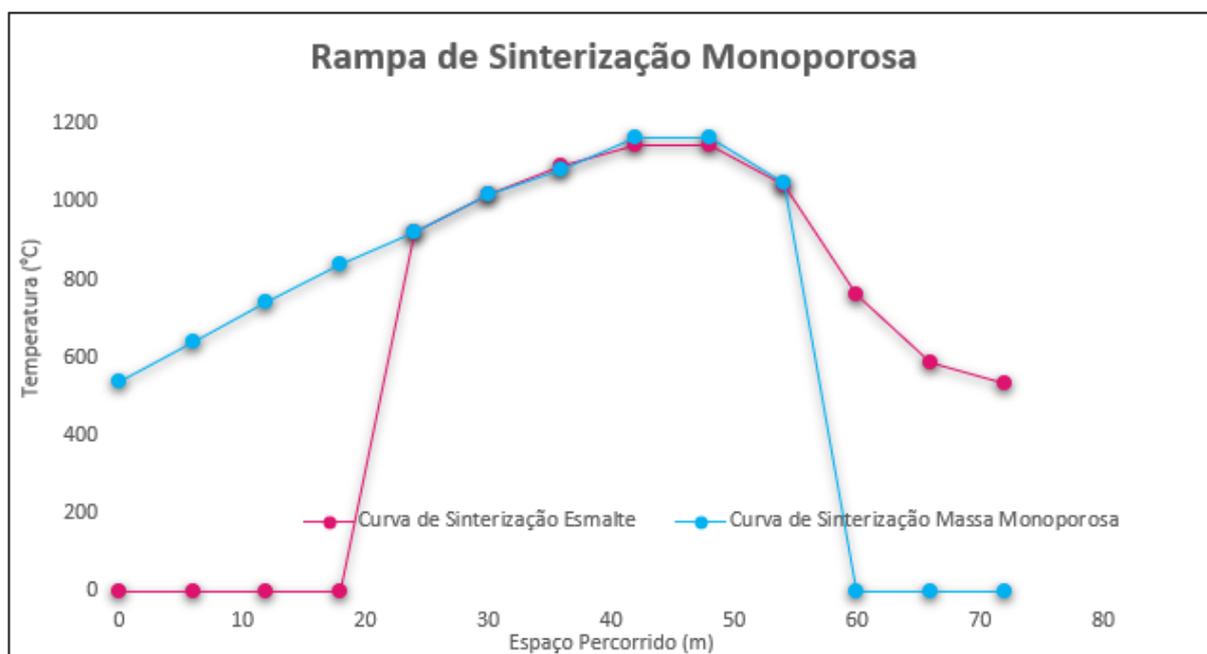
Fonte: da autora, 2019.

Onde: * = Não há temperatura.

Com os dados apresentados na Tabela 6, pode-se dizer que é uma representação das rampas de aquecimento e resfriamento dentro do forno de uma indústria cerâmica, onde a temperatura inferior representa a sinterização da massa monoporosa e a temperatura superior representa a sinterização do esmalte.

Com estes dados, plotou-se o Gráfico 1, temperatura real marcada no termopar do forno *versus* espaço percorrido pela peça cerâmica, para efeito de visualização:

Gráfico 1 – Rampa de Sinterização Monoporosa



Fonte: da autora, 2019.

É possível visualizar que com os dados plotados obtém-se a curva de sinterização, ou seja, tanto a massa monoporosa quanto o esmalte começam a sinterizar em uma temperatura menor, e, conforme o espaço percorrido dentro do forno, a mesma irá aumentar gradativamente para não correr risco de trincar o material cerâmico. Esse primeiro estágio é determinado como linear. Em seguida, se atingirá a máxima temperatura, a qual permanecerá constante por um certo período de tempo, ou espaço. Esse segundo estágio é determinado como patamar de sinterização. Por fim, a temperatura começará a diminuir gradativamente, para como no primeiro estágio, não haver trinca. Esse terceiro estágio também é determinado como linear.

2.1.2.6.2 Sinterização em Massa de Porcelanato

Como na dosagem a massa de porcelanato recebe maior porcentagem de materiais fundentes, no processo de sinterização vai haver formação de fase líquida a temperaturas mais baixas, conseqüentemente os poros da peça cerâmica vão sendo preenchidos por esse líquido fundido, diminuindo a absorção de água, aumentando a retração e a resistência mecânica do produto final.

No caso dos porcelanatos, o mecanismo de sinterização predominante é a sinterização com presença de fases líquidas. A utilização de minerais com baixa temperatura de fusão na composição das massas garante a formação de fases líquidas em temperaturas

relativamente baixas e potencializando a redução da porosidade do material cerâmico (RAHAMAN, 1995, *apud* AQUINO, 2015, p.27).

Na sinterização é onde toda reação química acontecerá, dando origem ao produto final, por este motivo, todo processo anterior a este, é de suma importância para deixar a massa de porcelanato dentro dos parâmetros, por isso, a temperatura e o tempo, ou o ciclo que a peça cerâmica percorre o forno são fundamentais para se atingir todos os objetivos desejados. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

Na Tabela 7, apresentada a seguir, segue os dados retirados do forno de sinterização do porcelanato:

Tabela 7 – Dados Retirados do Forno de Sinterização Porcelanato

Espaço Percorrido (m)	Temperatura Real Rampa de Baixo °C	Temperatura Real Rampa de Cima °C
0	749	*
7	864	*
14	922	*
21	957	644
28	1031	968
35	1072	1052
42	1099	1090
49	1124	1115
56	1196	1189
63	1197	1189
70	1089	1044
77	608	799
84	593	519
91	549	*

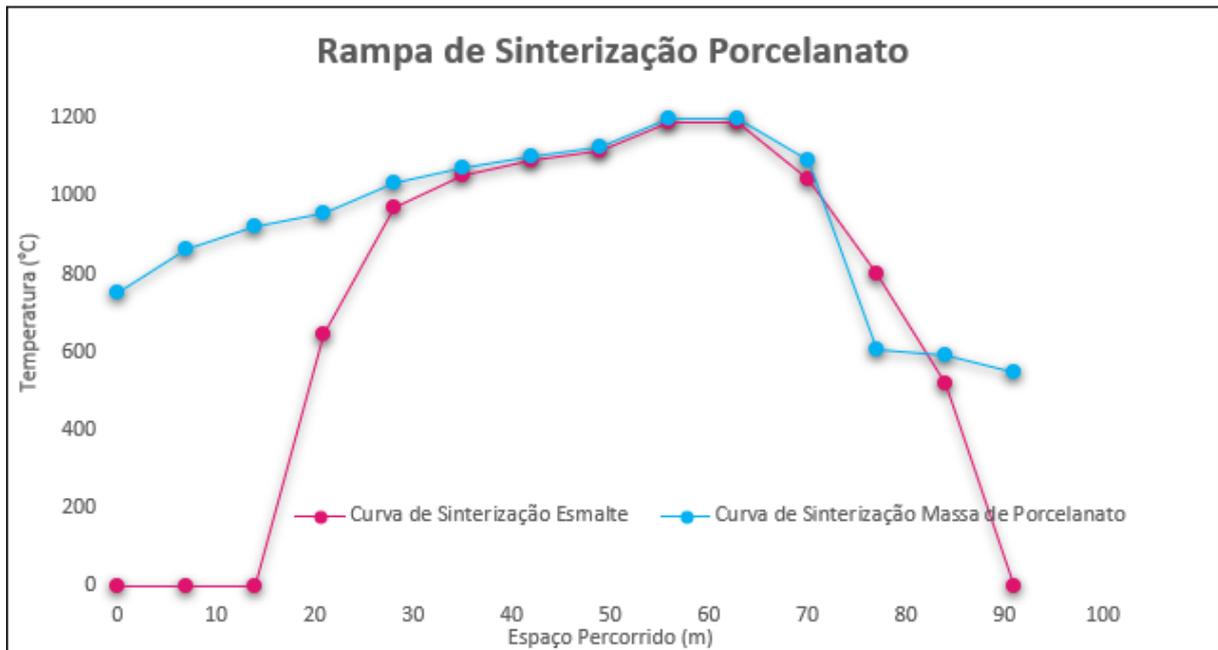
Fonte: da autora, 2019.

Onde: * = Não há temperatura.

Com os dados apresentados na Tabela 7, pode-se dizer que, é uma representação das rampas de aquecimento e desaquecimento dentro do forno de uma indústria cerâmica, onde a temperatura inferior representa a sinterização da massa monoporosa e a temperatura superior representa a sinterização da granilha.

Com estes dados, plotou-se o Gráfico 2, temperatura real marcada no termopar do forno *versus* espaço percorrido pela peça cerâmica, para efeito de visualização:

Gráfico 2 – Rampa de Sinterização Porcelanato



Fonte: da autora, 2019.

É possível visualizar que com os dados plotados obtém-se a curva de sinterização, ou seja, tanto a massa de porcelanato quanto a granilha começam a sinterizar em uma temperatura menor, e, conforme o espaço percorrido dentro do forno, a mesma irá aumentar gradativamente para não correr risco de trincar o material cerâmico. Esse primeiro estágio é determinado como linear. Em seguida, se atingirá a máxima temperatura, a qual permanecerá constante por um certo período de tempo, ou espaço. Esse segundo estágio é determinado como patamar de sinterização. Por fim, a temperatura começará a diminuir gradativamente, para como no primeiro estágio, não haver trinca. Esse terceiro estágio também é determinado como linear.

2.1.2.7 Escolha

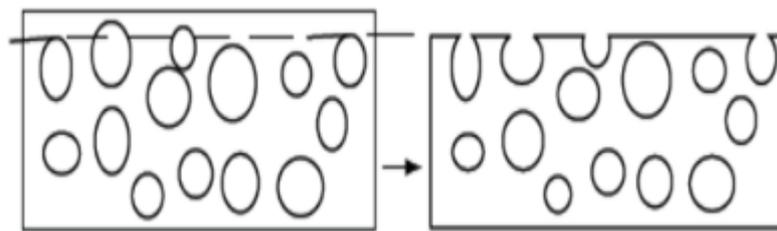
A escolha, ocorre após a sinterização, sendo um processo totalmente visual, onde é determinada a qualidade do produto acabado. É a partir da escolha que o produto recebe sua respectiva classificação como A, B ou C, onde a classe A ou extra 95% das peças são livres de defeitos superficiais, a classe B ou comercial pode conter pequenos defeitos e a classe C ou popular os defeitos são mais intensos.

2.1.2.8 Polimento

Após o processo de sinterização, é realizado o primeiro acabamento, onde, somente a massa de porcelanato é submetida ao polimento, em que a camada superficial do vidrado é retirada, conseqüentemente aumentando seu brilho. A água é utilizada no processo para fazer a limpeza da peça e a refrigeração da mesma. (KUMMER 2007, apud PIRES 2014).

Na Figura 5, apresentada a seguir, segue a esquematização do antes e depois após a etapa de polimento:

Figura 5 – Retirada da Camada Superficial



Fonte: Rosso 2005, apud Pires 2014, p.26.

Com a retirada da camada superficial apresentada na Figura 5, pode-se dizer que, o polimento abrasona a camada superficial do vidrado, ou seja, provoca um desgaste, conferindo o aumento do brilho, conseqüentemente deixando a peça, de certo modo, mais sensível.

2.1.2.9 Retífica

Após a sinterização, as peças cerâmicas que não são da linha de polimento vêm para a retífica, e aquelas que necessitam de polimento, vêm após este. Na retífica é feito o enquadramento dos revestimentos cerâmicos, onde, todos os produtos passam a ter o mesmo tamanho. Após este acabamento final, as peças passam por um secador para a retirada do excesso de água. Por fim, são embaladas mecanicamente e expedidas.

2.2 ESMALTE E GRANILHA PARA REVESTIMENTOS CERÂMICOS

O esmalte e a granilha, que são utilizados em indústrias de revestimentos cerâmicos, são compostos basicamente por fritas. O que difere na composição de cada um é que, enquanto

o esmalte recebe todo um beneficiamento dentro da empresa, passando por um processo de dosagem de matérias primas cruas e moagem, a granilha, por sua vez, não recebe o mesmo tratamento. Esse processo de beneficiamento do esmalte e do não beneficiamento da granilha serve para manter as condições técnicas e estéticas da superfície externa que o produto final necessita alcançar.

Nos itens que seguem abaixo, abordar-se-á sobre o que são fritas cerâmicas e as diferenças entre o esmalte e a granilha.

2.2.1 Fritas Cerâmicas

A homogeneidade da composição de esmaltes cerâmicos é obtida, normalmente, em função da adição de fritas cerâmicas. Estas, são obtidas em empresas especializada em sua produção e adquiridas pelos fabricantes de cerâmicas como matéria prima para produção.

As fritas cerâmicas são materiais de natureza vítrea preparadas por fusão em temperaturas elevadas (~1500°C), a partir de uma mistura de matérias-primas minerais. Os vidrados preparados exclusivamente a partir de fritas são utilizados principalmente em peças cerâmicas nas quais a componente estética é mais importante que a componente técnica, como no caso de azulejos, objetos decorativos e em restaurações odontológicas. Para um efeito decorativo mais eficiente, é necessário que o revestimento cerâmico seja estável o suficiente para não alterar significativamente a cor apresentada pelo pigmento e, dessa forma, possibilitar uma reprodutibilidade da cor obtida. (SANTOS *et al.*, 2010, p.9).

A sílica compõe a matéria prima básica das fritas cerâmicas. As empresas especializadas em sua produção, adotam um local geográfico abundante no material silicoso e, de lá, fabricam e suprem as empresas cerâmicas que do material necessitam. Dessa forma, a esteticidade dos materiais é obtida em parte, pela utilização das fritas e, também, pela qualidade destas.

Na Tabela 8, apresentada a seguir, segue a composição das fritas cerâmicas:

Tabela 8 – Composição das Fritas Cerâmicas

Tipos de Fritas/ Composição Química (%)					
Óxidos Constituintes	Transparente Brilhante	Brilhante Opaca	Fundente ao Chumbo (Pb)	Mate ao Cálcio (Ca)	Mate ao Zinco (Zn)
Dióxido de Silício (SiO ₂)	56,9	53,6	35,9	45,6	38,5
Óxido Bórico (B ₂ O ₃)	4,5	4,3	5	20,5	8,5
Alumina (Al ₂ O ₃)	7,8	7,8	5	2,2	3,1
Óxido de Zircônio (ZrO ₂)	*	10,8	*	*	*
Óxido de Magnésio (MgO)	*	*	*	*	*
Óxido de Cálcio (CaO)	9	9,2	*	26,6	4,5
Óxido de Bário (BaO)	5,2	*	*	*	*
Óxido de Zinco (ZnO)	12,3	9,8	7,6	*	28,5
Óxido de Sódio (Na ₂ O)	3,3	1,7	2,7	3,5	4,5
Óxido de Potássio (K ₂ O)	1	2,8	2,4	1,6	1,1
Óxido de Chumbo (PbO)	*	*	43,5	*	11,3

Fonte: da autora, 2019, adaptado de Oliveira; Hotza, 2015, p.38.

Onde: * = Não há percentual.

Com o a composição apresentada na Tabela 8, pode-se dizer que, para cada tipo de frita fabricada, existe um percentual diferente de minerais ou óxidos constituintes, pois, cada frita é designada para um tipo de esmalte específico.

2.2.2 Granilha

Granilha é basicamente a frita cerâmica beneficiada, através do processo de moagem, para ajustar a granulometria entre 0,15mm à 2mm. Este intervalo granulométrico varia de acordo com os efeitos pretendidos no produto final, ou seja, conforme pretende-se

finalizar o acabamento superficial das peças de revestimentos cerâmicos, onde é aplicado por via seca através de granilhadores. (SARABANDO; OLIVEIRA; LABRINCHA, 2011).

A granilha é um produto obtido pela trituração a seco das fritas até alcançar diferentes distribuições de tamanhos de partícula, em função do tipo de efeito que se deseja alcançar. Na atualidade, pode-se encontrar no mercado uma grande variedade de tamanhos de granilhas: 0,1-0,3 mm, 0,2-0,6 mm, 0,2-1,2 mm, etc. Nos últimos anos vem ocorrendo uma tendência de diminuição dos tamanhos médios das granilhas, na medida em que a característica do mercado vem evoluindo. (BERTO, 2000, p. 16).

Em geral, a aplicação da granilha em peças de revestimentos cerâmicos é realizada para obtenção dos efeitos de decoração, quando recebe o beneficiamento de polimento, e para proteção, deixando o revestimento com aspecto ante derrapante. Tais efeitos, para serem alcançados, dependem unicamente da granulometria da frita beneficiada pelo processo de moagem.

2.2.3 Esmalte

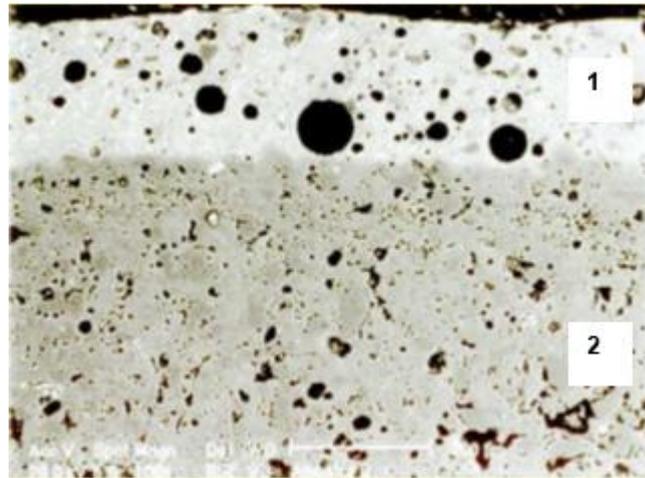
Esmaltes são compostos por materiais vítreos que tem a função de impedir a passagem de líquidos para a massa cerâmica, ou seja, após o processo de fusão, o esmalte cria um aspecto semelhante à de um vidro por cima das peças de revestimentos cerâmicos que servem como impermeabilizante. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

Esmaltes ou vidrados são misturas de matérias-primas naturais e produtos químicos ou compostos vítreos que aplicados à superfície do corpo cerâmico e após queima, formam uma camada vítrea, delgada e contínua. Esta tem por finalidade aprimorar a estética, tornar o produto impermeável, melhorar a resistência mecânica e propriedades elétricas entre outros fatores. As composições dos esmaltes (vidrados) são inúmeras e sua formulação depende das características do corpo cerâmico, das características finais do esmalte e da temperatura de queima. Os esmaltes (vidrados) são obtidos a partir de matérias-primas naturais e de produtos da indústria química. Entre as matérias-primas naturais: quartzo, areia do mar, quartzito, caulim, lepidolita, espodumênio, ambligorita, feldspato, calcita, fluorita, talco, dolomita e zirconita. Entre os produtos químicos: borax, ácido bórico, carbonato de sódio, nitrato de sódio, carbonato de potássio, nitrato de potássio, óxidos de chumbo, carbonato de cálcio, carbonato de bário, carbonato de magnésio, carbonato de lítio, carbonato de estrôncio e óxido de zinco. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016, [s.p]).

A aplicação do esmalte em peças de revestimentos cerâmicos é realizada para obtenção de efeitos estéticos do produto acabado e, também, como uma forma de proteção vítrea sobre a massa cerâmica.

Na Figura 6, apresentada a seguir, segue a micrografia de uma peça de revestimento cerâmico:

Figura 6 – Micrografia de uma Peça de Revestimento Cerâmico



Fonte: Oliveira; Hotza, 2015, p.91.

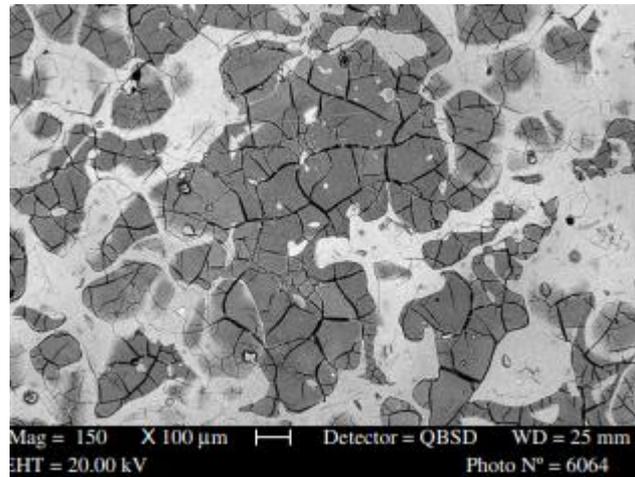
Com a micrografia apresentada na Figura 6, pode-se dizer que, o ponto 1 mostra a camada de proteção superficial, ou seja, é a parte do revestimento cerâmico que recebe o esmalte, já o ponto 2, mostra a massa cerâmica.

2.3 A OCORRÊNCIA DO ATAQUE QUÍMICO

Durante determinado tempo de uso, os revestimentos cerâmicos podem ficar mais sensíveis aos produtos de limpeza em que são submetidos, pois estes podem conter, em sua composição, agentes químicos agressivos a superfície externa da peça cerâmica, por este motivo, são realizados os teste de ataque químico, onde o vidro é exposto a agentes químicos determinados pelas normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR (Norma Brasileira) 13818 e ABNT NBR 15463. (ESCARDINO et al., 2002).

Na Figura 7, apresentada a seguir, segue a micrografia de uma peça de revestimento cerâmico sendo atacada quimicamente:

Figura 7- Micrografia da Superfície de um Esmalte Brilhante Atacado Quimicamente

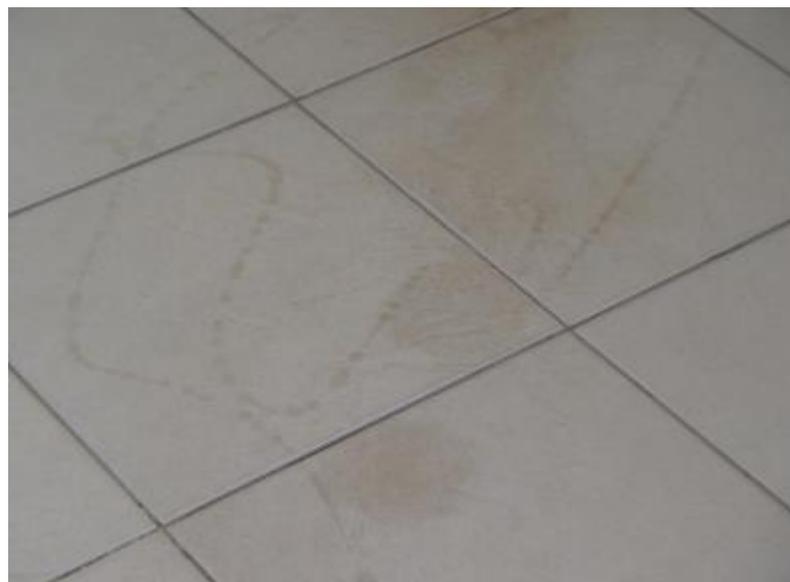


Fonte: Rego, *et al*, 2006, p.14

Com a micrografia obtida através de um MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) apresentada na figura 7, pode-se dizer que, quando a superfície do vidrado, ou seja, quando a superfície do revestimento cerâmico que contém o acabamento superficial por esmaltação é atacado quimicamente, vai abrindo a fase vítrea, ou seja, a camada de proteção vai se abrindo, deixando os poros da peça expostos.

Na Figura 8, apresentada a seguir, segue uma peça de revestimento cerâmico sensível a um determinado produto de limpeza:

Figura 8 – Revestimento Cerâmico Sensível ao Produto de Limpeza



Fonte: Centro Cerâmico do Brasil, 2018.

Com o revestimento cerâmico apresentado na Figura 8, pode-se dizer que, com o passar do tempo, a peça cerâmica sofreu um certo desgaste em sua superfície esmaltada, e, como o esmalte serve de proteção, toda sujeira agora, consegue penetrar nos poros, fazendo com que as marcas de ataque que o piso sofreu pelo produto de limpeza fique evidente.

2.4 NORMAS VIGENTES

2.4.1 ABNT NBR 13818

Todos os ensaios físicos e químicos realizados no laboratório de produto acabado, em uma indústria de revestimentos cerâmicos, está diretamente ligado a ABNT NBR 13818 (30/05/1997), sendo esta norma sobre especificações e métodos de ensaio.

Esta norma fixa as características exigíveis para fabricação, marcação, declarações em catálogos, recebimento, inspeção, amostragem, ensaios opcionais complementares, métodos de ensaio e aceitação de placas cerâmicas para revestimento. (ABNT, 1997, p.2).

É de suma importância que as empresas de revestimentos cerâmicos sigam esta normatização para além de garantir a qualidade, os produtos fabricados fiquem dentro dos parâmetros exigidos pela norma.

Na Tabela 9, apresentada a seguir, segue a classificação e requisitos para as peças de revestimento cerâmico de acordo com a ABNT NBR 13818:

Tabela 9 - Classificação e Requisitos Técnicos para Produto Acabado Prescritos pela Norma NBR 13818

Características	Valores Prescritos (Prensado)	
Absorção de Água	Média	≥0%
	Individual (máx)	9%
Resistência à Flexão	Média	≥15MPa
	Individual (min)	12MPa
Carga de Ruptura	Espessura < 7,5mm	≥600N
	Espessura ≥7,5mm	≥200N
Resistência à Abrasão Profunda (Não Esmaltados)		
Expansão por Umidade	Por Acordo	
Dilatação Térmica Linear	Por Acordo	
Resistência ao Choque Térmico	Por Acordo	
Resistência ao Gretamento	Não Gretar	
Coefficiente de Atrito	A Declarar	
Resistência à Abrasão Superficial (Pisos Esmaltados)		
Dureza Mohs	Por Acordo	
Resistência ao Congelamento	Por Acordo	
Resistência ao Impacto	Por Acordo	
Resistência ao Manchar	≥Classe 3 (G); A Declarar (U)	
Cádmio e Chumbo Solúveis	Por Acordo	
Usos Domésticos e para Tratamento em Piscinas	≥Classe GB; ≥ Classe UB	
Ácidos e Álcalis de Baixa Concentração	A Declarar (G/U)	
Ácidos e Álcalis de Alta Concentração	A Declarar (G/U)	

Fonte: da autora, 2019, adaptado de Oliveira; Hotza, 2015, p.53

Com a classificação e os requisitos apresentados na Tabela 9, pode-se dizer que, que quanto maior a absorção de água, menor será a resistência da peça de revestimento cerâmico, já os outros testes, são feitos por acordo, com cliente e empresa, visto que a ABNT NBR 13818 não traz dentro de si nenhuma classificação específica.

2.4.2 ABNT NBR 15463

Com a junção da ABNT NBR 13818, os testes físicos e químicos realizados no laboratório de produto acabado, em uma indústria de revestimentos cerâmicos, utiliza a ABNT NBR 15463 (03/10/2013), sendo esta norma sobre porcelanato.

Esta norma estabelece os requisitos exigíveis para fabricação, marcação, declarações em catálogos, recebimento, inspeção, amostragem e aceitação de placas cerâmicas para revestimento do tipo porcelanato. Não é permitido o uso de denominações, como, por exemplo, porcelanico, gres porcelanico, porcelain, porcelanoso, e qualquer outra designação que possa induzir e confundir o usuário/especificador, para produtos que não atendam aos requisitos da norma. (ABNT, 2013, p.1).

Esta normatização foi criada especialmente para as peças de revestimento cerâmico denominadas de porcelanato, para fazer um apanhado geral, incluindo todas as normatizações vigentes, sobre o porcelanato.

Na Tabela 10, apresentada a seguir, segue a classificação e requisitos para as peças de revestimento cerâmico de acordo com a ABNT NBR 15463:

Tabela 10 - Classificação e Requisitos Técnicos para Porcelanato Prescritos pela Norma NBR 15463

Características		Valores Prescritos			
		Área do Produto \leq 50cm ²		Área do Produto > 50cm ²	
		Técnico	Esmaltado	Técnico	Esmaltado
Absorção de Água	Média	$\leq 0,1\%$	$\leq 0,5\%$	$\leq 0,1\%$	$\leq 0,5\%$
	Individual (máx)	0,20%	0,60%	0,20%	0,60%
Módulo de Resistência à Flexão	Média	$\geq 45\text{MPa}$		$\geq 37\text{MPa}$	
	Individual (min)	42MPa		35MPa	
Carga de Ruptura	Espessura < 7,5mm	$\geq 1000\text{N}$		$\geq 900\text{N}$	$\geq 900\text{N}$
	Espessura \geq 7,5mm	*		$\geq 1800\text{N}$	$\geq 1500\text{N}$
Resistência à Abrasão Profunda (Não Esmaltados)		$\leq 140\text{mm}^2$	*	$\geq 140\text{mm}^2$	*
Dilatação Térmica Linear		Por Acordo			
Resistência ao Choque Térmico		Por Acordo			
Resistência ao Gretamento		*	Não Gretar	*	Não Gretar
Coeficiente de Atrito		A Declarar			
Resistência à Abrasão Superficial (Esmaltados)		*	Por Acordo	*	Por Acordo
Resistência ao Congelamento		Por Acordo			
Resistência ao Impacto		Por Acordo			
Resistência ao Manchar		\geq Classe 3			
Cádmio e Chumbo Solúveis		Por Acordo			
Resistência aos Agentes Químicos		Técnico ou Esmaltado			
		A Declarar			

Usos domésticos e para Tratamento em Piscinas	
Ácidos e Álcalis de Baixa Concentração	A Declarar
Ácidos e Álcalis de Alta Concentração	Por Acordo

Fonte: Oliveira; Hotza, 2015, p.15.

Onde: * = Sem valores.

Com a classificação e os requisitos apresentados na Tabela 10, pode-se dizer que, quanto menor a absorção de água, maior será a resistência da peça de revestimento cerâmico, já os outros testes, são feitos por acordo, com cliente e empresa, visto que a ABNT NBR 13818 não traz dentro de si nenhuma classificação específica.

2.4.3 Junção das Normas para o Teste de Ataque Químico

As placas cerâmicas para revestimento, submetidas ao teste de ataque químico, devem ser codificadas de acordo com o acabamento superficial (esmaltado e não esmaltado), a concentração dos reagentes químicos utilizados e aos níveis de resistência.

Na Tabela 11, apresentada a seguir, segue as codificações utilizadas para os revestimentos cerâmicos:

Tabela 11 – Codificações dos Níveis de Resistência Química

Acabamento		Concentração dos Reagentes Químicos		Níveis de Resistência Química		
Esmaltado	Não Esmaltado	Alta Concentração	Baixa Concentração	Alta	Média	Baixa
G	U	H	L	A	B	C

Fonte: da autora, 2019, adaptado de ABNT NBR 13818, 1997, apud Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais, 2009, p.14.

Onde: G = Glazed;

U = Unglazed.

Com as codificações apresentadas na Tabela 11, pode-se dizer que, quando as peças cerâmicas apresentam o acabamento superficial esmaltado e que, são submetidas ao teste de ataque químico com reagentes de alta concentração, são classificadas como: GHA, GHB ou GHC. Quando estas peças são submetidas aos reagentes químicos de baixa concentração, são classificadas como: GLA, GLB ou GLC. Já as peças que não recebe o acabamento de esmalte, e que, são submetidas ao teste de ataque químico com reagentes de alta concentração, são classificadas como: UHA, UHB ou UHC. Quando estas peças são submetidas aos reagentes químicos de baixa concentração, são classificadas como: ULA, ULB ou ULC.

Na Tabela 12, apresentada a seguir, segue a classe de reagentes e os respectivos tempos em que cada um deve ficar agindo sobre a superfície do revestimento cerâmico:

Tabela 12 – Classificação dos Reagentes Químicos e seus Respetivos Tempo de Ataque

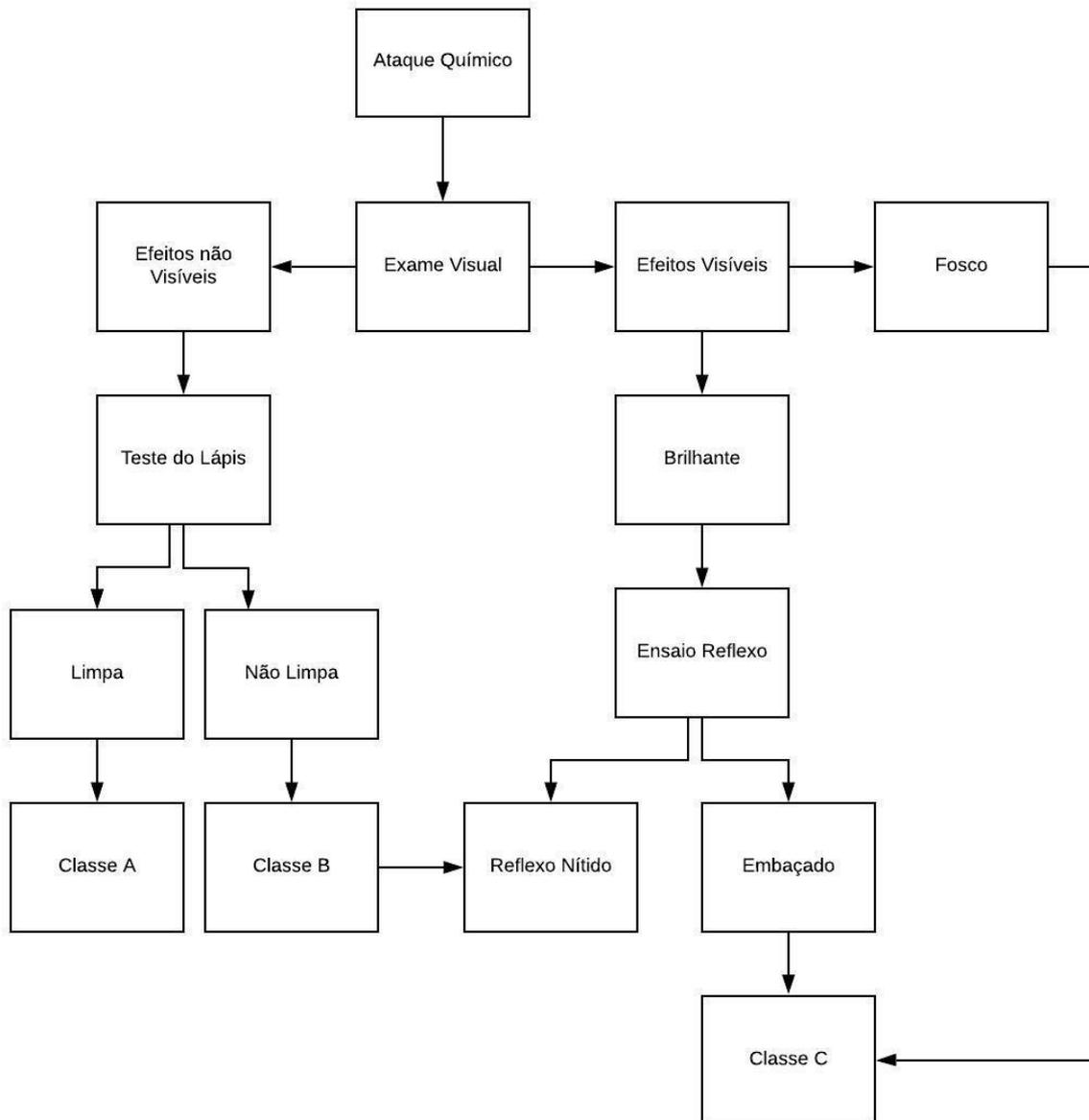
Classe de Reagentes	Agentes Agressivos	Tempo de Ataque (H)
Produtos Químicos Doméstico	Cloreto de Amônio (NH ₄ Cl)	24
Produtos de Tratamento de água de Piscina	Hipoclorito de Sódio (NaClO)	24
Ácidos e Álcalis de Baixa Concentração e Alta Concentração	Ácido Cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	24
	Ácido Clorídrico (HCl)	96
	Hidróxido de Potássio (KOH)	96

Fonte: da autora, 2019, adaptado de ABNT NBR 13818, 1997, p.32.

Com a classificação apresentada na Tabela 12, pode-se dizer que, a ABNT NBR 13818 divide os reagentes químicos a serem utilizados nos testes de ataque químico em produtos domésticos, produtos de tratamento de água de piscina, ácidos e álcalis de baixa e alta concentração, e que, independentemente da concentração de ambos, existe um tempo determinado pela organização da norma, em que as peças de revestimento cerâmico devem ficar expostas ao respectivo reagente para posterior classificação, de acordo com a Tabela 11.

Na Figura 11, apresentada a seguir, segue a classificação de revestimentos cerâmicos quanto ao teste de ataque químico:

Figura 9- Procedimento Sistemático de Classificação em Revestimentos Cerâmicos



Fonte: da autora, 2019, adaptado de ABNT NBR 13818, 1997, p.33.

Com o procedimento sistemático de classificação apresentado na Figura 11, pode-se dizer que, a classificação de revestimentos cerâmicos após o teste de ataque químico varia entre A, que apresentam resistência química elevada quando submetidas a este tipo de teste, B, que apresentam resistência química mediana quando submetidas a este tipo de teste e C, que apresentam resistência química baixa quando submetidas a este tipo de teste.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 AS PESQUISAS CIENTÍFICAS

As pesquisas científicas, elaboradas a partir de rigorosos e minuciosos planejamentos permitem a elevação dos envolvidos para um patamar interpretativo não oferecido pelas estratégias memorísticas tradicionais que compõem a educação nacional. Assim consegue-se perceber a realidade e suas características para, então, intervir sobre ela.

No dia-a-dia das pessoas, pesquisa, como expressão educativa, significa andar de olhos abertos, ler criticamente a realidade, reconstruir as condições de participação histórica, informar-se adequadamente. [...] os alunos não vão para a universidade escutar discurso dos professores, mas, trabalhar juntos, construindo conhecimento (DEMO, 2012, p. 37).

Evidencia-se então a falência do sistema implementado no Brasil onde as ações docentes são pautadas pela transmissão de informações que devem ser memorizadas e submetidas a avaliações diagnósticas. Esse fato traduz um sistema arcaico e há mais de um século, abandonado por todos os países que apostaram na educação de qualidade.

3.2 O ESTUDO APLICADO

A investigação realizada foi caracterizada pela abordagem quantitativo-indutiva com método de procedimento do tipo estudo de caso experimental e nível explicativo. As pesquisas realizadas sob este nível, determinam a necessidade da definição e manipulação de variáveis independentes. Ao mesmo tempo, sintetizam o conhecimento da pesquisadora sobre a temática apresentada e farto referencial bibliográfico existente.

Yin (2005, p.27), afirma que, nestes casos, “[...] são realizados experimentos quando o pesquisador pode manipular o comportamento direta, precisa e sistematicamente. Isso pode ocorrer em um laboratório, no qual o experimento pode focar uma ou duas variáveis isoladas.

O procedimento adotado, estudo de caso, referiu-se a necessidade do isolamento do objeto em estudo através do que Triviños (2006) chama de esferas de essência. O caso especificamente delimitado e estudado foi “o resultado do ataque químico a peças cerâmicas com brilho e com ou sem polimento.” Essa circunscrição do objeto em análise permitiu a descrição dos resultados sem interferências de fatores externos. Ainda para Yin (2001, p. 45),

“O estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados. Pode incluir tantos estudos de caso único quanto de múltiplos, assim como abordagens quantitativas e qualitativas de pesquisa.” Nessa percepção, o planejamento inicial levou a formulação de delimitação do problema de pesquisa que permitiu a descrição das seguintes hipóteses:

H1: Esmaltes com granulometria menor, apresenta maior reatividade na sinterização, portanto, maior eficiência ao teste de ataque químico.

H2: A granilha, que contém granulometria maior, apresenta menor reatividade na sinterização, portanto, menor eficiência ao teste de ataque químico.

Essas hipóteses, após a manipulação das variáveis definidas previamente foram refutadas ou aceitas como próprias. Para o caso em estudo, as variáveis independentes foram a granulometria do material determinada em μm e o ácido aplicado ao material. As variáveis dependentes foram constituídas pelos diferentes reagentes químicos utilizados, de acordo com a NBR 13818 e NBR 15463.

Entretanto, as formas determinadas para a verificação das hipóteses e manipulação das variáveis, na busca de respostas ao problema central foram factíveis apenas e tão somente pela minuciosa escolha do referencial teórico do estudo feito. Estudos quantitativos exigem uma descrição imparcial e fidedigna dos resultados obtidos. Para tanto, traz consigo o caráter conceitual e analítico desenvolvido na pesquisa executada. Dessa forma se determina a importância da fundamentação bibliográfica:

A revisão bibliográfica é sempre útil para fazer comparações com outros casos semelhantes, buscar fundamentação teórica e também para reforçar a argumentação de quem está descrevendo o caso. A discussão permite avaliar os caminhos seguidos (como se desenvolve o caso), desde a elaboração dos objetivos (por que estudar o caso) até as conclusões (o que se aprendeu com o estudo do caso). (VENTURA, 2007, p. 132).

Por isso, a preocupação inicial da pesquisadora foi, através do planejamento, descrever todos os objetivos operacionais necessários para que o problema fosse respondido e o objetivo geral alcançado. Assim, a revisão de literatura foi realizada, sempre, a luz dos objetivos específicos.

3.3 HISTÓRICO DO PROCESSO

3.3.1 Teste de Ataque Químico

Primeiramente preparou-se as soluções dos reagentes utilizados no teste de ataque químico, de acordo com as normas vigentes mencionadas no item 2.5:

- 1) Solução Cloreto de Amônio (NH_4Cl) 100g/L: Pesou-se 100g de cloreto de amônio e diluiu-se, com água destilada, em um balão volumétrico de 1000mL (1L).
- 2) Solução Hipoclorito de Sódio (NaClO) 20mg/L: Pesou-se 0,1g de hipoclorito de sódio (100mg) e diluiu-se, com água destilada, em um balão volumétrico de 5000mL (5L).
- 3) Solução Ácido Clorídrico (HCl) 3%: Adicionou-se, aproximadamente $\frac{3}{4}$ de água destilada em um balão volumétrico de 1000mL (1L), em seguida, foram adicionados 30mL de ácido clorídrico e completou-se o volume com água destilada.
- 4) Solução Ácido Cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 100g/L: Pesou-se 100g de ácido cítrico e diluiu-se, com água destilada, em um balão volumétrico de 1000mL (1L).
- 5) Solução Hidróxido de Potássio (KOH) 30g/L: Pesou-se 30g de hidróxido de potássio e diluiu-se, com água destilada, para um balão volumétrico de 1000mL (1L).

Em seguida a preparação das soluções, iniciou-se os testes, onde as peças analisadas foram recolhidas na saída do forno (placa cerâmica com esmalte brilhoso e sem polimento) e na linha de polimento (placa cerâmica com esmalte brilhoso e com polimento), depois cortadas em 5 pedaços, com o auxílio de um cortador de peças cerâmicas, nos tamanhos 6cm x 6cm para obtenção dos corpos de prova.

Logo após a obtenção dos corpos de prova, higienizou-se os mesmos, com papel toalha, para retirar o excesso da poeira obtida através do corte e, realizou-se a identificação, nas laterais, com pincel anatômico, do respectivo reagente químico a ser utilizado em cada um. Para a aplicação das soluções nos corpos de prova, separou-se 10 copos descartáveis de 20mL, sendo utilizados 5 copos para cada peça, cada copo em um corpo de prova, contendo cerca de 10mL da solução respectiva que fora marcada anteriormente.

Os reagentes foram colocados em contato com os corpos de prova da seguinte maneira: primeiramente, avolumou-se os 10mL de cada reagente em seus respectivos copos, em seguida, pegou-se os corpos de prova com a superfície esmaltada em direção ao copo dos respectivo reagente, flexionou-se levemente os copos para fazer vácuo, neste momento os corpos de prova foram virados, deixando a sua superfície exposta ao reagente utilizado no teste de ataque químico.

Na Figura 12, apresentada a seguir, segue a esquematização de como é realizado o teste de ataque químico:

Figura 10 – Teste de Ataque Químico



Fonte: Centro Cerâmico do Brasil, 2018.

Deixou-se os corpos de prova em contato com os reagentes ácido cítrico, cloreto de amônio e hipoclorito de sódio em repouso por um período de 24 horas, após este tempo, retirou-se as soluções, lavou-se os corpos de prova em água corrente, seguindo após, para estufa com temperatura programada em 120°C para retirada do excesso de água. Após a secagem e resfriamento em temperatura ambiente, fez-se a avaliação a olho nu. Já os corpos de prova que continham os reagentes hidróxido de potássio e ácido clorídrico, foram deixados em repouso por um período de 96 horas, após este tempo, retirou-se as soluções e lavou-se os corpos de prova em água corrente e solução de ácido clorídrico na concentração de 10% , retirando a marca dos copos que continham os reagente químico para não confundir com o ataque químico na hora da avaliação, seguindo após, à estufa com temperatura programada em 120°C para

retirada do excesso de água. Depois da secagem e resfriamento em temperatura ambiente, fez-se a avaliação a olho nu.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.4.1 Teste de Ataque Químico

Na Tabela 13, apresentada a seguir, segue os resultados obtidos através do teste de ensaio químico:

Tabela 13 – Resultados Obtidos Através do Teste de Ataque Químico

Produto	Reagente Químico				
	Ácido Cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	Cloreto de Amônio (NH ₄ Cl)	Hipoclorito de Sódio (NaClO)	Ácido Clorídrico (HCl)	Hidróxido de Potássio (KOH)
Revestimento Cerâmico Esmaltado sem Polimento	*	*	*	*	*
Revestimento Cerâmico Esmaltado com Polimento	*	*	*	Baixo	Alto

Fonte: da autora, 2019.

Onde: * = Não atacado quimicamente.

Com os dados obtidos na Tabela 13, pode-se concluir que, de um modo geral, que o esmalte, utilizado nesse caso para a massa monoporosa (revestimento esmaltado sem polimento), apresenta granulometria menor, onde, as partículas estão mais próximas, apresentando dentro do forno maior reatividade, ou seja, sofrem reações termoquímicas com maior intensidade que unem as partículas que já estão próximas, desta forma, ficam mais resistentes ao ataque químico. Já a granilha, utilizada nesse caso para a massa de porcelanato (revestimento esmaltado com polimento), apresenta granulometria maior, onde, as partículas estão mais dispersas, apresentando dentro do forno menor reatividade, ou seja, sofrem reações termoquímicas com menor intensidade, desta forma, as partículas que já são dispersas não se unem tanto, ficando menos resistente ao ataque químico.

Na Tabela 14, apresentada a seguir, seguem as classificações, obtidas através da avaliação realizada nos revestimentos cerâmicos esmaltados brilhosos com polimento e sem polimento, de acordo com a junção das normas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 13818 e ABNT NBR 15463 mencionadas no item 2.3.4 deste presente trabalho:

Tabela 14 - Classificação do Revestimento Cerâmico Esmaltados com e sem Polimento

Revestimento Cerâmico Esmaltado sem Polimento			
Reagentes Químicos	Acabamento do Revestimento Cerâmico	Concentração dos Reagentes Químicos	Resistência Química
Cloreto de Amônio (NH ₄ Cl)	G	L	A
Hipoclorito de Sódio (NaClO)	G	L	A
Ácido Clorídrico (HCl)	G	L	A
Ácido Cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	G	L	A
Hidróxido de Potássio (KOH)	G	L	A
Revestimento Cerâmico Esmaltado com Polimento			
Reagentes Químicos	Acabamento do Revestimento Cerâmico	Concentração dos Reagentes Químicos	Resistência Química
Cloreto de Amônio (NH ₄ Cl)	G	L	A
Hipoclorito de Sódio (NaClO)	G	L	A
Ácido Clorídrico (HCl)	G	L	B
Ácido Cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	G	L	A
Hidróxido de Potássio (KOH)	G	L	C

Fonte: da autora, 2019.

Onde: G = Revestimento cerâmico esmaltado;

L = Reagente químico de baixa concentração;

A = Revestimento cerâmico com alta resistência ao ataque químico;

B = Revestimento cerâmico com média resistência ao ataque químico;

C = Revestimento cerâmico com baixa resistência ao ataque químico.

A análise do resultado mencionado acima, é uma resposta do teste de ataque químico em peças de revestimentos cerâmicos esmaltados brilhoso com polimento e sem polimento. Dentro deste resultado, existem fatores, que foram evidenciados durante as pesquisas realizadas, interferindo indireta e diretamente, sendo discutidos nos tópicos abaixo.

3.4.1.1 Fatores que Interferem Diretamente no Teste de Ataque Químico

3.4.1.1.1 *Composição*

3.4.1.1.1.1 *Esmalte*

O esmalte, composto por fritas cerâmicas, recebe todo um beneficiamento dentro da empresa com matérias primas ditas cruas, pois não passam por nenhum processo termoquímico antes de servirem como suporte para o esmalte, o único processo que estas matérias primas recebem é na jazida, pois como são roxas, passam por um processo de trituração. Dentre essas matérias primas pode-se citar o caulim, zircônio e o feldspato. É realizada a dosagem das fritas junto com estas matérias primas, passando por todo um processo de moagem com água e aditivos, dessa forma, formando as ligações químicas entre as moléculas, conseqüentemente, aumentando sua resistência.

3.4.1.1.1.2 *Granilha*

A granilha, composta também por fritas cerâmicas, por outro lado, não recebe nenhum tipo de beneficiamento dentro da empresa, é aplicada nos revestimentos cerâmicos da forma como chega dos fornecedores, dessa forma, não há formação de ligação química, conseqüentemente, apresenta menor resistência comparada ao esmalte.

3.4.1.1.2 *Granulometria*

3.4.1.1.2.1 *Esmalte*

Como o esmalte passa por todo um beneficiamento de moagem, apresenta um percentual de resíduo na malha 325 de 5%, as moléculas estão mais unidas entre si, tornando-se um material mais homogêneo, logo, apresenta uma resistência maior.

3.4.1.1.2.2 *Granilha*

A granilha apresenta um percentual de resíduo na malha 100 de 30%, as moléculas estão mais dispersas entre si, tornando-se um material heterogêneo, logo, apresenta uma resistência menor.

3.4.1.1.3 *Aplicação*

3.4.1.1.3.1 *Esmalte*

Como o esmalte é um resíduo muito fino, não tem como aplicar a seco na peça cerâmica, por este motivo, é incorporado com um teor de aproximadamente 30% de água que já vem do processo de moagem.

3.4.1.1.3.2 *Granilha*

Como a granilha é um resíduo mais grosseiro, é aplicada a seco na peça cerâmica, pois, se fosse aplicado com umidade, como do esmalte, estragaria a estética da peça.

3.4.1.2 Fatores que interferem indiretamente no Teste de Ataque Químico

3.4.1.2.1 *Temperatura e Ciclo de Sinterização*

3.4.1.2.1.1 *Massa Monoporosa*

Apresenta menor temperatura e ciclo de sinterização, pois, em sua composição há um percentual maior de matérias primas refratárias para a indústria de revestimentos cerâmicos, e, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 13818 a massa monoporosa deve apresentar uma absorção de água $\geq 10\%$, por este motivo, é composta em maior percentual por quartzo, que apresenta alto ponto de fusão, pois não há a necessidade da formação da fase líquida, conseqüentemente, aumentando a absorção de água e diminuindo a resistência mecânica, que de acordo com a ABNT NBR 13818 deve ser $\geq 600\text{N}$. O esmalte, utilizado neste caso, deve acompanhar as necessidades da massa, ou seja, deve ser composto por materiais que a baixa temperatura em que a massa monoporosa é submetida, continue com um alto teor de absorção. Como o esmalte apresenta granulometria menor, tem maior resistência, pois como é um líquido, as ligações termoquímicas são mais resistentes, formando um aglomerado entre as moléculas, logo, deve ser submetido a temperatura menor para se alcançar todas as condições técnicas e estéticas do vidrado, formando um líquido menos viscoso sobre a superfície da peça de revestimento cerâmico.

3.4.1.2.1.2 *Massa Porcelanato*

Apresenta temperatura e ciclo de sinterização maior, pois, em sua composição há um percentual maior de matérias primas fundentes para a indústria de revestimento cerâmico, e, segundo as normas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Normas Brasileiras (NBR) 13818 e ABNT NBR 15463 a massa de porcelanato deve apresentar uma absorção de água $\leq 0,5\%$, por este motivo, é composta em maior percentual por feldspato, que apresenta um ponto de fusão relativamente baixo para a temperatura em que o material é submetido, formando uma fase líquida que tem como principal objetivo fechar os poros da massa cerâmica, conseqüentemente, diminuindo a absorção de água e aumentando a resistência mecânica, que, de acordo com as normas ABNT NBR 13818 e ABNT NBR 15463 deve ser $\geq 1500\text{N}$. O esqueleto da massa de porcelanato é o quartzo, pois é um material mais firme a alta temperatura, dando suporte para quando a fase líquida é formada, o material não se deformar. A granilha, utilizada neste caso, deve acompanhar as necessidades da massa, ou seja, deve ser composta por materiais que suportem a alta temperatura em que a massa de porcelanato é submetida. Como a granilha apresenta granulometria maior, tem menor resistência, pois na sinterização

forma um “gel ” onde as ligações termoquímicas são menos resistentes, pois não forma um aglomerado entre as moléculas, logo, deve ser submetida a alta temperatura para se alcançar as condições técnicas e estéticas do vidrado, formando um líquido mais viscoso sobre a superfície da peça de revestimento cerâmico.

3.4.1.2.2 Polimento

Neste caso, somente as peças cerâmicas de porcelanato com a superfície contendo a granilha passa por este tipo de beneficiamento. O polimento é feito por um equipamento que abrasa a superfície do revestimento cerâmico, ou seja, provoca o desgaste da granilha deixando-a mais exposta ao ataque químico, pois, quando ocorre o processo de sinterização, essa superfície é selada devido as ligações químicas das moléculas entre si, e o abrasamento irá cortar esta ligação, fazendo com que a superfície fique mais sensível. Quando o agente químico, para teste de ataque químico, é colocado sobre a peça, toda a parte abrasada perde o brilho e fica fosca.

4 CONCLUSÃO

As principais matérias primas de uma indústria de revestimento cerâmico são: argila, quartzo e feldspato, que em conjunto, determinam a plasticidade, a refratariedade e a fusibilidade do material a ser fabricado. Estes elementos, juntamente com outros materiais e aditivos, passam por um processo de dosagem, onde se determina o percentual para cada matéria de acordo com a massa a ser preparada, em seguida, passando pelo processo de moagem, atomização, prensagem, esmaltação, decoração, sinterização, retífica e polimento.

Tanto o esmalte quanto a granilha que são utilizados no acabamento superficial das peças de revestimentos cerâmicos, são compostos, em grande parte, por fritas cerâmicas, acrescidos de outras matérias primas em que o fornecedor não abre a composição. O que difere um produto do outro é que, dentro da própria empresa, o esmalte recebe todo um beneficiamento de moagem, junto com outras matérias e aditivos, logo é aplicado nas peças por via úmida, através de campanas, já a granilha não recebe nenhum tipo de beneficiamento, é aplicada nas peças da forma como chega dos fornecedores, ou seja, é aplicada via seca, através de granilhadores. Todo o beneficiamento realizado ou não realizado é para se alcançar os aspectos necessários e desejados na superfície do produto final.

O ataque químico é um teste que deve ser realizado para testar a sensibilidade das peças de revestimento cerâmico, quando colocados em contato com os principais agentes químicos que compõe os produtos de limpeza, verificando se apresenta resistência ou não, ou seja, é um teste que é provocado com a intenção de verificar a qualidade que o revestimento cerâmico se encontra, a fim de levar para o mercado consumidor produtos qualificados com um ciclo de vida aumentando. Com os testes realizados, foi possível verificar que, o revestimento cerâmico que contém a superfície composta por esmalte, não sofreu ataque químico com nenhum dos reagentes determinados pelas normas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 13818 e ABNT NBR 15463, já o revestimento cerâmico que contém a superfície composta por granilha, evidenciou maior ataque químico com o reagente hidróxido de potássio (KOH), isso porque a granilha é basicamente composta por fritas cerâmicas, que são que uma rede de álcalis, e o hidróxido de sódio também é um reagente alcalino, e como se diz quimicamente que semelhante dissolve semelhante, pode-se concluir, que o hidróxido de potássio dissolveu a granilha, deixando o revestimento cerâmico com o poros mais propícios a sensibilidade.

Através dos testes de ataque químico foi possível verificar ainda, que ambos os materiais testados encontram-se dentro das normas existentes ABNT NBR 13818 e ABNT

NBR 15463, onde o revestimento cerâmico esmaltado brilhoso sem polimento ficou classificado com GLA para ambos os reagentes químicos citados nas normas, por ser esmaltado, os reagentes químicos utilizados foram de baixa concentração e apresentou alta resistência química ao teste laboratorial. Já o revestimento cerâmico esmaltado brilhoso sem polimento ficou classificado como GLA para ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), cloreto de amônio (NH_4Cl) e hipoclorito de sódio ($NaClO$), por ser esmaltado, todos os reagentes químicos utilizados foram de baixa concentração e apresentou alta resistência química ao teste laboratorial, ficou classificado como GLB para o ácido clorídrico (HCl), por ser esmaltado, o reagente químico utilizado foi de baixa concentração e apresentou média resistência química ao teste laboratorial, e ainda, ficou classificado como GLC para o hidróxido de potássio (KOH), por ser esmaltado, o reagente químico utilizado foi de baixa concentração e apresentou baixa resistência química ao teste laboratorial.

4.1 TRABALHOS FUTUROS

A fabricação de revestimentos cerâmicos varia de empresa para empresa, desde o tamanho do forno, temperatura, ciclo de sinterização, o tipo de fornecedor do esmalte e da granilha, as matérias primas utilizadas no beneficiamento do esmalte, por estes motivos, não tem como se evitar o ataque químico, pois varia muito de processo para processo, logo, para futuros trabalhos sugere-se o levantamento destes dados para relacioná-los diretamente com a intensidade do ataque químico nas peças de revestimento cerâmicos. Também sugere-se a pesquisa mais aprofundada sobre as reações químicas que envolvem o ataque químico, sendo elas, as reações entre a superfícies compostas por esmalte e granilha e os respectivos reagentes químicos citados pelas normas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 13818 e ABNT NBR 15463.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, Robson Cesar Alves de. **Influência da Secagem de Massa de Revestimento Cerâmico em Indústria e Laboratório**. 2015. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências e Engenharia de Materiais, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. Disponível em:
<<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/14230/1/Arquivototal.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.
- Associação Brasileira de Cerâmica - ABCERAM (São Paulo) (Org.). **Informações Técnicas: Processo de Fabricação**. 2016. Disponível em: <<https://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>>. Acesso em: 16 set. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: Placas Cerâmicas para Revestimentos - Especificações e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro: Abnt, 1997. 78 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15463**: Placas Cerâmicas para Revestimentos - Porcelanato. Rio de Janeiro: Abnt, 2013. 7 p.
- BARBOSA, Andrea Quaranta; SANTOS, Cesar Douglas Bezerra dos; COSTA, Diego Melo. Análise Geral dos Processos de Fabricação de Materiais Cerâmicos para o Setor da Construção Civil. **Interfaces Científicas: Exatas e Tecnologia**, Aracaju, v. 2, n. 2, p.19-26, out. 2016. Disponível em:
<<https://periodicos.set.edu.br/index.php/exatas/article/view/3510/0>>. Acesso em: 16 set. 2019.
- BERTO, Arnaldo Moreno. Adequação das Propriedades de Tintas e Esmaltes aos Sistemas de Aplicação e Técnicas. Decorativas.: Parte I: Esmaltação.. **Cerâmica Industrial**, Castellón, v. 5, n. 5, p.11-18, out. 2000. Disponível em:
<<https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/587657087f8c9d6e028b462d>>. Acesso em: 15 out. 2019.
- BÓ, M. dal et al. Efeito das Propriedades dos Esmaltes e Engobes Sobre a Curvatura de Revestimentos Cerâmicos. **SciELO**, Florianópolis, v. 58, n. 345, p.118-125, mar. 2012. Disponível em: <scielo.br/pdf/ce/v58n345/19.pdf>. Acesso em: 16 set. 2019.
- BOSCHI, Anselmo Ortega; MELCHIADES, Fábio Gomes. **Matérias Primas Suportes de Revestimentos Cerâmico**, 2005.
- BRISTOT, Vilson Menegon et al. Estudo para Utilização de Prensagem Uniaxial de Ação Simples para Compactação de Corpos Moedores Utilizada na Indústria de Placas de Revestimentos Cerâmicos. **Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecânica**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p.47-55, 25 abr. 2012. Disponível em:
<<https://www2.uned.es/ribim/volumenes/Vol18N1Abril2014/V18N1A03%20Bristol.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2019.
- CALLISTER JUNIOR, Willian D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 705 p. Sérgio Murilo Stamile Soares.

CENTRO CERÂMICO DO BRASIL. **Programa Setorial da Qualidade de Placas Cerâmicas para Revestimento**. Santa Gertrudes: Simac, 2018. 55 p. Disponível em: <www.ccb.org.br>. Acesso em: 22 out. 2019.

DEMO, Pedro. Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.

ESCARDINO, A. et al. Interação entre Camadas de Esmalte Durante a Queima: Resistência Química dos Vidrados Resultantes. **Cerâmica Industrial**, Castellón, v. 7, n. 5, p.7-19, out. 2002. Disponível em: <<https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657147f8c9d6e028b4678/pdf/ci-7-5-587657147f8c9d6e028b4678.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2019.

GARCIA, Gian et al. A Utilização do Resíduo da Fabricação de Granilha em Engobes e Esmaltes Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, Criciúma, v. 24, n. 1, p.35-39, jan. 2019. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2019.002/pdf/ci-24-1-35.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2019.

MODESTO, Claudio de Oliveira; BARBOSA JÚNIOR, José Celso. **Material Cerâmico**. 2001. 227 f. Monografia (Especialização) - Curso de Técnico de Cerâmica, Técnico, Colégio Maximiliano Gaidzinski, Cocal do Sul, 2001.

NANDI, V. S.; MONTEDO, O. R. K.. Otimização do Processo de Moagem de Engobes Cerâmicos para Produção de Revestimento. **Cerâmica Industrial**, Criciúma, v. 14, n. 4, p.24-28, ago. 2009. Disponível em: <<https://ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/5876573d7f8c9d6e028b476b>>. Acesso em: 12 set. 2019.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes; HOTZA, Dachamir. **Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos**. 2. ed. Florianópolis: Ufsc, 2015. 120 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187929>>. Acesso em: 05 set. 2019.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de. Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, Criciúma, v. 5, n. 6, p.37-47, dez. 2000. Disponível em: <<https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657097f8c9d6e028b4638>>. Acesso em: 16 set. 2019.

PIRES, Natália Mariano. **Estudo da Reutilização do Resíduo de Polimento para Obtenção de Cerâmica de Revestimento**. 2014. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <demat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/25/2018/06/TCCII_1º_2014_Natalia-Mariano-Pires-_Prof-Ivete-Peixoto.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.

REGO, Bruna Turino et al. Resistência ao Ataque Químico dos Esmaltes Mates Acetinados. Parte 1: Características Microestruturais de Produtos Comerciais. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 11, n. 4, p.13-16, ago. 2006. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876572b7f8c9d6e028b46fe/pdf/ci-11-4-5876572b7f8c9d6e028b46fe.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2019.

RIBEIRO, Manuel J.; VENTURA, José M.; LABRINCHA, João A. A Atomização Como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, Viana do Castelo, v. 6, n. 5, p.34-40, set. 2001. Disponível em:

<<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876570f7f8c9d6e028b4657>>. Acesso em: 13 set. 2019.

SANTOS, S. F. et al. Estudo Colorimétrico de Fritas Feldspáticas. **SciELO**, Rio de Janeiro, v. 56, n. 337, p.9-14, mar. 2010. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/ce/v56n337/v56n337a03.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.

SANTOS, Zora Ionara Gama dos. **Tecnologia dos Materiais não Metálicos**: Classificação, Estrutura, Propriedades, Processo de Fabricação e Aplicações. São Paulo: Érica, 2014.

Disponível em:

<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520421/pageid/2>>. Acesso em: 17 set. 2019.

SARABANDO, Artur R. M.; OLIVEIRA, Helder J. C.; LABRINCHA, João António. Uso de Granilhas em Suspensão para Porcelanato. **Cerâmica Industrial**, Aveiro, v. 16, n. 3, p.11-16, maio 2011. Disponível em:

<<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657477f8c9d6e028b47a6/pdf/ci-16-3-587657477f8c9d6e028b47a6.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2019.

SHREVE, R. Norris; BRINK JUNIOR, Joseph A.. **Indústria de Processos Químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.a., 2008. 717 p. Horacio Macedo.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Placas Cerâmicas para Revestimento**. Belo Horizonte: Programa Qualimat, 2009. 24 p. Disponível em: <http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/geral/Placas_Ceramicas_para_Revestimento.pdf>. Acesso em: 04 out. 2019.

SOUSA, S. J. G.; HOLANDA, J. N. F.. Formulação e Propriedades de Queima de Massa para Revestimento Poroso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 49., 2005, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Cnpq, 2005. p. 1 - 9. Disponível em:

<<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2005/artigos/49cbc-6-04.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.

TRIVIÑOS, A.N.S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 2006.

VENTURA, Magda Maria. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. Rev SOCERJ. Vol. 20, nº. 5, p.383-386, setembro/outubro 2007. Disponível em:

[http://unisc.br/portal/upload/com_arquivo/o_estudo_de_caso_como_modalidade_de_pesquisa.pdf]. Acesso em 23 mai 2017.

YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Tradução: Daniel Grassi. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

