



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
IVONEI RODRIGUES JUNIOR

**ESTUDO DOS FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR NA PLANARIDADE DOS
REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Tubarão
2017

IVONEI RODRIGUES JUNIOR

**ESTUDO DOS FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR NA PLANARIDADE DOS
REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

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

Orientador: Prof^ª. MSc. Jucilene Feltrin

Coorientador: Prof. Dr. Gilson Rocha Reynaldo

Tubarão

2017

IVONEI RODRIGUES JUNIOR

**ESTUDO DOS POSSÍVEIS FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR NA
PLANARIDADE DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Relatório técnico/científico de Estágio
Supervisionado julgado adequado à obtenção do título
de Bacharel em Química Industrial e aprovado em sua
forma final pelo Curso de Química Industrial da
Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 29 de junho de 2017



Professora e orientadora Jucilene Feltrin, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Marcia Luzia Michels, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Maria Ana Pignatel Marcon, Dra.
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

À minha família, por sua capacidade de acreditar e me incentivar durante a conclusão desta etapa da minha vida. Mãe, seu cuidado e dedicação foi o que me deu em alguns momentos, a esperança para seguir. A minha noiva Daiani Correa Constante que sempre esteve ao meu lado dando apoio e incentivo nos momentos mais difíceis.

Aos amigos que fiz durante o período em que estive no curso, pelos momentos de descontração e boas risadas, e também pelos conhecimentos compartilhados.

À professora e orientadora MSc. Jucilene Feltrin pela atenção, disponibilidade na orientação e sugestões no trabalho, ao coorientador Dr. Gilson Rocha Reynaldo pelos ensinamentos e auxílio na elaboração deste trabalho. A todos os professores da Universidade do Sul de Santa Catarina que contribuíram para a minha formação acadêmica.

A empresa que me concedeu o estágio, ao Supervisor de estágio Everaldo Biz pela ajuda concedida durante o estágio.

Por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse concluir este trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

Uma das principais qualidades do produto acabado desejadas nos revestimentos cerâmicos é a sua planaridade, porém tal quesito é muito difícil de ser controlado no processo de produção. Desta forma visando identificar alguns dos fatores que poderiam influenciar na variação de planaridade analisaram-se alguns parâmetros no processo a fim de compreender qual sua ação sobre a planaridade. Fez-se alguns estudos com relação ao resíduo de moagem das argilas, aplicação da camada de esmalte no processo de esmaltação e no processo de prensagem. Os resultados indicam que o fator estudado que mais influenciou na planaridade dos revestimentos cerâmicos foi a aplicação da camada de esmalte. Para manter o planar dentro dos padrões desejados sugeriu-se alguns ajustes nas temperaturas de queima.

Palavras-chave: Qualidade. Planaridade. Revestimentos Cerâmicos.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Fluxograma de processo de produção de revestimentos cerâmicos por via úmida. . | 11 |
| Figura 2: Imagem transversal de um revestimento cerâmico | 17 |
| Figura 4: Equipamento utilizado para medir a curvatura. | 21 |
| Figura 5: Relógio comparador com medidas em milímetro. | 22 |
| Figura 3: Comportamento de curvatura após queima..... | 24 |
| Figura 6: Planar negativo..... | 26 |
| Figura 7: Planar positivo | 26 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Teste de compactação..... | 23 |
| Tabela 2: Comportamento de curvatura após queima..... | 24 |
| Tabela 3: Análise da influência do esmalte..... | 25 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA E PROBLEMA | 8 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 9 |
| 1.2.1 | Objetivo geral..... | 9 |
| 1.2.1.1 | Objetivo específico | 9 |
| 2 | REFERÊNCIAL TEÓRICO | 10 |
| 2.1 | PROCESSO DE PRODUÇÃO | 10 |
| 2.1.1 | Matérias-Primas | 11 |
| 2.1.2 | Dosagem | 12 |
| 2.1.3 | Moagem a úmido | 12 |
| 2.1.4 | Atomização..... | 13 |
| 2.1.5 | Prensagem..... | 13 |
| 2.1.6 | Secagem..... | 14 |
| 2.1.7 | Esmaltação | 14 |
| 2.1.8 | Queima | 15 |
| 2.2 | COMPOSIÇÃO DO ESMALTE E DA BASE..... | 16 |
| 2.3 | RESÍDUO DE MOAGEM..... | 17 |
| 2.4 | PRESSÃO DE COMPACTAÇÃO | 18 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 19 |
| 3.1 | TIPO DE PESQUISA | 19 |
| 3.2 | TESTE DE COMPACTAÇÃO | 20 |
| 3.3 | TESTE DE RESÍDUO | 20 |
| 3.4 | DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR E CAMADA DE ESMALTE | 20 |
| 3.5 | ENSAIO DE PLANARIDADE | 21 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 23 |
| 4.1 | ANÁLISE DO AUMENTO DE COMPACTAÇÃO..... | 23 |
| 4.2 | ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE MOAGEM..... | 24 |
| 4.3 | ANÁLISE DA ATUAÇÃO DO ESMALTE EM RELAÇÃO À CURVATURA | 25 |
| 4.4 | AJUSTES NA QUEIMA | 25 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 27 |
| | REFERÊNCIAS | 28 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente é um dos principais produtores e consumidores de revestimentos cerâmicos. O processo de produção vem evoluindo constantemente para atender a demanda do mercado consumidor, que buscam materiais com alta qualidade e design diferenciados. Hoje com a vinda da impressão digital na parte de decoração dos revestimentos cerâmicos, é possível obter-se produtos que imitam perfeitamente a aparência da madeira ou pedra por exemplo.

As características estéticas e físico-químicas dos revestimentos cerâmicos dependem muito da composição das matérias-primas, do processo de produção via úmida ou via seca, e também do tratamento térmico nos fornos.

Visando garantir a qualidade dos revestimentos cerâmicos bem como evitar que o material seja desclassificado para classe de qualidade inferior, a presente pesquisa busca elencar e descrever possíveis soluções aos fatores no processo de produção que podem influenciar na curvatura do material após a queima.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

Com a exigência cada vez maior do mercado consumidor de revestimentos cerâmicos por produtos de alta qualidade e também por serem produtos de alto valor agregado, tornou-se imprescindível o monitoramento e controle da planaridade das placas cerâmicas.

Todos os revestimentos cerâmicos apresentam variação de curvatura após a sua saída do forno durante um período de tempo que pode chegar a alcançar alguns dias. A grande dificuldade de se definir um padrão de curvatura para a placa cerâmica na saída do forno é conhecer o quanto a mesma irá alcançar até que suas tensões estejam completamente estáveis.

Segundo a NBR 15463(2013) é aceitável a curvatura da placa cerâmica côncava -0,2% e convexa até 0,3% para materiais com tamanho de até 80 cm, acima deste tamanho os valores limites são de $\pm 0,2\%$ em relação ao tamanho nominal do material.

Em função da alta complexidade que é produzir um revestimento cerâmico pergunta-se: **quais os fatores que devem ser controlados no processo de produção para que a placa cerâmica chegue ao consumidor final com a planaridade que atenda a**

norma técnica e também a qualidade estética, em estudo realizado na cidade de Tubarão, sul de Santa Catarina no ano de 2017.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar quais os fatores que podem influenciar no comportamento da curvatura dos materiais cerâmicos após a sua saída do forno.

1.2.1.1 Objetivo específico

- Descrever qual a influência do resíduo de moagem no comportamento da curvatura da placa cerâmica;
- Avaliar como a diferença de composição entre o esmalte e a base da placa cerâmica interfere na curvatura;
- Avaliar qual a influência da pressão de prensagem sob a curvatura após a queima do produto;
- Descrever possíveis ajustes na curva de queima do forno para manter os valores de curvatura dentro dos padrões pré-estabelecidos.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO

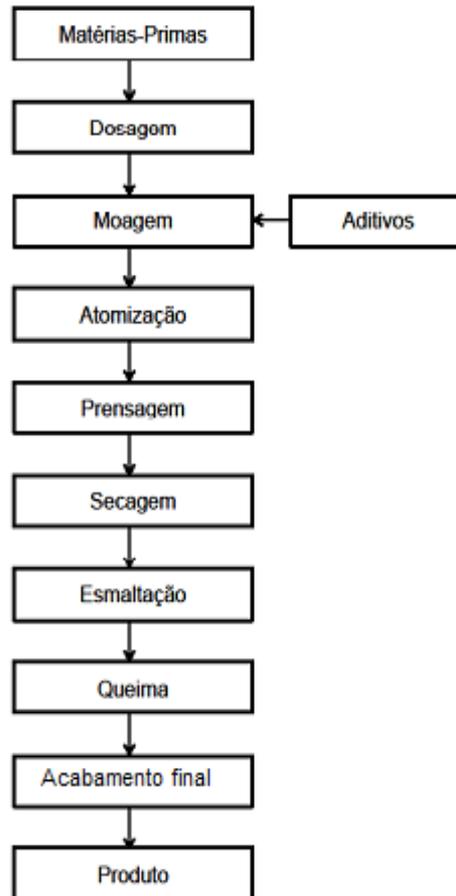
A indústria de revestimentos cerâmicos vem evoluindo constantemente ao longo dos anos, tanto no processo produtivo com a melhoria dos equipamentos de produção quanto na tecnologia de controle de matérias-primas na qual se estudam a composição e estrutura das substâncias antes delas entrarem na linha de produção. (RODRIGUES, 2017).

Além da natureza química e mineralógica das matérias-primas, as características finais de um produto dependem fortemente dos parâmetros tecnológicos adotados ao longo do processo de fabricação. Na definição das condições de operação de um determinado processo é fundamental avaliar as relações entre os aspectos tecnológicos, de natureza física e química, e os parâmetros de trabalho nas várias etapas do processo. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015, p. 36).

Para assegurar as características físico-químicas do produto final é necessário ter um controle de processo muito eficiente através de formulações de produção e simultaneamente um monitoramento constante nos padrões de produção visando atender as especificações técnicas particulares de cada produto. (RODRIGUES, 2017).

A produção dos revestimentos cerâmicos por via úmida pode ser descrita conforme o fluxograma exibido pela Figura 1.

Figura 1: Fluxograma de processo de produção de revestimentos cerâmicos por via úmida.



Fonte: Oliveira e Hotza, 2015, p. 107.

2.1.1 Matérias-Primas

Cada matéria-prima possui uma função dentro da formulação das massas cerâmicas, as matérias-primas refratárias têm por finalidade deixar a coloração da base mais clara após a queima, melhorar a resistência química e ajustar o coeficiente de expansão térmica. Matérias-primas fundentes auxiliam na diminuição da temperatura de queima, na redução de absorção de água, pois diminuem a porosidade dos materiais, aumentam a resistência mecânica e a estabilidade dimensional. Por fim as matérias-primas plásticas auxiliam na compactação na etapa de prensagem, uma vez que diminuem o esforço das prensas para se adquirir uma determinada resistência mecânica no produto em fabricação. (RODRIGUES, 2017).

As massas cerâmicas para revestimentos, e em geral para outras aplicações tradicionais, como sanitária e de mesa, são referidas como triaxiais, em função de serem constituídas, de um modo simplificado, por três grupos distintos de matérias-primas com características intrínsecas diferentes: plásticas, fundentes e refratárias. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015, p. 30).

Sendo que cada matéria-prima possui uma função específica dentro da formulação das massas cerâmicas é muito importante a caracterização físico-química das argilas antes que essas entrem no processo de produção, dessa forma assegura-se que o produto final obtenha as características desejadas. (RODRIGUES, 2017).

2.1.2 Dosagem

Cada matéria-prima é separada individualmente em box de armazenagem para que não haja problema de mistura antes da dosagem, posteriormente é transportada através de uma máquina pá-carregadeira que abastece as caixas dosadoras. (RODRIGUES, 2017).

A dosagem é uma operação que determina as quantidades relativas das matérias-primas que farão parte da composição de uma massa formulada. (OLIVEIRA; HOTZA, 2015, p. 38).

O sistema de alimentação no processo de moagem contínua é realizado através de esteiras transportadoras controladas por sensores e células de carga que fazem a pesagem das matérias-primas, em seguida as argilas são depositadas num silo para posteriormente serem introduzidas no moinho contínuo. (RODRIGUES, 2017).

2.1.3 Moagem a úmido

No sistema de moagem a úmido as matérias-primas são dosadas juntamente com a adição de água para posteriormente seguirem para o processo de atomização. Os moinhos tem um formato cilindro e são constituídos por chapa de aço, no interior dos mesmos o seu revestimento é feito por borracha, os corpos moedores são geralmente constituídos por esferas de alta alumina e seixos de ágata. (RODRIGUES, 2017).

O processo de moagem, de qualquer indústria cerâmica tem como objetivo a redução do tamanho das partículas do material sólido, podendo este ser uma mistura de diversas matérias-primas. Esta redução proporciona ao material sólido um aumento de sua área superficial, conferindo um aumento nas velocidades de reações sólido-sólido devido ao maior contato entre as partículas. No caso de misturas de matérias-primas, ocorre também uma melhor homogeneização e interação das mesmas, melhorando as características do pó. (BOSA, et al, 2007, p. 32).

Os moinhos que atuam de forma contínua possuem vantagens em relação aos moinhos descontínuos, eles proporcionam trabalhar com a densidade de barbotina mais elevada diminuindo assim o consumo energético no processo de atomização e também possibilita um aumento da produtividade pois não necessita interromper o processo de trabalho para fazer a carga e descarga das matérias-primas. Alguns fatores como: densidade, viscosidade e resíduo devem ser controlados de maneira eficaz para garantir a qualidade e homogeneização da barbotina e assim evitar variações nos processos subsequentes. (RODRIGUES, 2017).

2.1.4 Atomização

O processo de atomização na indústria cerâmica é utilizado somente na moagem por via úmida para efetuar a retirada parcial de água da barbotina. Esta técnica proporciona uma excelente qualidade no pó produzido, facilitando assim sua conformação na etapa de prensagem. (RODRIGUES, 2017).

Resumidamente, pode-se afirmar que a atomização consiste na transformação de uma suspensão aquosa de partículas sólidas (denominada na cerâmica por “barbotina”) 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 aglomerados 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 retirada de água da barbotina através da atomização deve ser parcial e controlada, uma vez que o pó atomizado deve permanecer com umidade em torno de 7%, para que se mantenha uma boa plasticidade na etapa de compactação. Outro parâmetro que deve ser controlado é a granulometria, fazendo com que se obtenha diferentes diâmetros do pó atomizado o que facilita o preenchimento e diminuição dos espaços vazios nos moldes das prensas. (RODRIGUES, 2017).

2.1.5 Prensagem

Nesta etapa do processo se determina o tamanho do biscoito, característica de superfície (lisa ou relevo) e também a espessura da placa cerâmica a ser produzida. A qualidade das arestas das peças a serem produzidas que não forem receber o processo de

retífica também é definido no processo de prensagem. Dependendo do tamanho das placas e também do tamanho das prensas é possível se produzir mais de uma placa por ciclo de prensagem, o que aumenta a produtividade. (RODRIGUES, 2017).

A prensagem é a operação de conformação baseada na compactação de um pó granulado (massa) contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão. A operação compreende três etapas ou fases: (1) preenchimento da cavidade do molde, (2) compactação da massa e (3) extração da peça (AMORÓS, 2000, p. 23).

Quanto maior for a compactação do pó melhor vai ser a resistência mecânica a verde e após a queima da placa cerâmica. Esse mesmo princípio aplica-se para a absorção de água, quanto maior for a densificação das placas menor vai ser sua absorção de água após a queima, por essa razão os porcelanatos precisam de maior pressão de compactação em relação aos materiais de monoporosa. (RODRIGUES, 2017).

2.1.6 Secagem

O principal objetivo da secagem é a retirada da umidade residual da placa cerâmica que fica em torno de 7% na etapa da prensagem, após o processo de secagem é recomendado trabalhar com umidade residual abaixo de 1%. Com a diminuição da umidade das placas cerâmicas sua resistência mecânica aumenta muito, facilitando com que a placa passe pelos processos seguintes sem sofrer danos em sua estrutura. (RODRIGUES, 2017).

Na maior parte dos secadores, a secagem dos materiais cerâmicos se efetua mediante a circulação de ar quente. O ar serve como portador de energia e transporta o vapor de água. Neste tipo de secagem, que pode ser considerada como uma secagem por convecção. (RECCO, 2008, p. 23).

O aquecimento do ar é realizado através da queima de gás natural. A temperatura inicial de aquecimento fica em torno de 100° C, na zona intermediária do secador pode chegar até 270° C e a temperatura de saída mantém-se em 100° C. (RODRIGUES, 2017).

2.1.7 Esmaltação

A aplicação de engobe e esmaltes por véu campana proporciona uma melhor qualidade superficial do vidrado nos materiais cerâmicos, concedendo desta forma uma textura mais lisa. Quanto maior as camadas de engobe e esmalte melhor vai ser a textura

superficial do material após a queima, em contrapartida aumenta o custo de produção. (RODRIGUES, 2017).

Atualmente, os sistemas de aplicação de esmalte por campana são amplamente utilizados no setor de fabricação de revestimentos cerâmicos. Apesar de nos últimos anos o uso de sistemas de aplicação por cortina ou “fileira” ter aumentado consideravelmente, existe, entretanto um grande número de fabricantes que utilizam as campanas nas aplicações de engobes e esmaltes, dado que o seu custo é sensivelmente inferior ao das “fileiras”. (MALLOLA; BOIXA; LORENSA; BAUTISTAA; RODRIGOB; FONT, 2008, p. 7).

Este processo de produção não pode ter variações no peso de aplicação na mesma peça e entre peças, pois ocasiona variações de tonalidade e também na planaridade do produto. O controle de peso de aplicação pode ser feito por uma bandeja de aço e balança, zera-se a bandeja na balança, após passa-se a bandeja sob o véu campana e retorna-se a bandeja para a balança, obtendo-se assim o peso de aplicação. Para evitar oscilações no véu deve-se trabalhar com viscosidade elevada. (RODRIGUES, 2017).

2.1.8 Queima

Com a substituição dos fornos a túnel pelos contínuos o que possibilita a queima de material de forma ininterrupta, houve uma grande diminuição nos custos de produção e um aumento de produtividade. Em geral o que se almeja no forno é que o ciclo de queima seja o menor possível, sendo assim obtém-se uma maior produtividade e um menor custo de produção. (RODRIGUES, 2017).

A queima corresponde à última etapa da fabricação dos porcelanatos, onde devem ocorrer de forma conveniente as reações necessárias para que os produtos apresentem o conjunto de propriedades especificado. Nos últimos anos, os ciclos de queima utilizados na fabricação de revestimentos cerâmicos sofreram drásticas reduções, o que resultou em consideráveis aumentos de produtividade e reduções de custos. (MAGALHÃES; CONTARTESIA; CONSERVA; MELCHIADES; BOSCHI, 2014, p. 20).

Alguns fatores devem ser levados em conta para determinação dos ciclos dos fornos, como: absorção de água, textura, tamanho das peças, brilho, resistência mecânica, desgaseificação e a planaridade. O emprego de uma curva de queima bem elaborada permite a obtenção de produtos com alta qualidade e que atendam as especificações técnicas exigidas. (RODRIGUES, 2017).

2.2 COMPOSIÇÃO DO ESMALTE E DA BASE

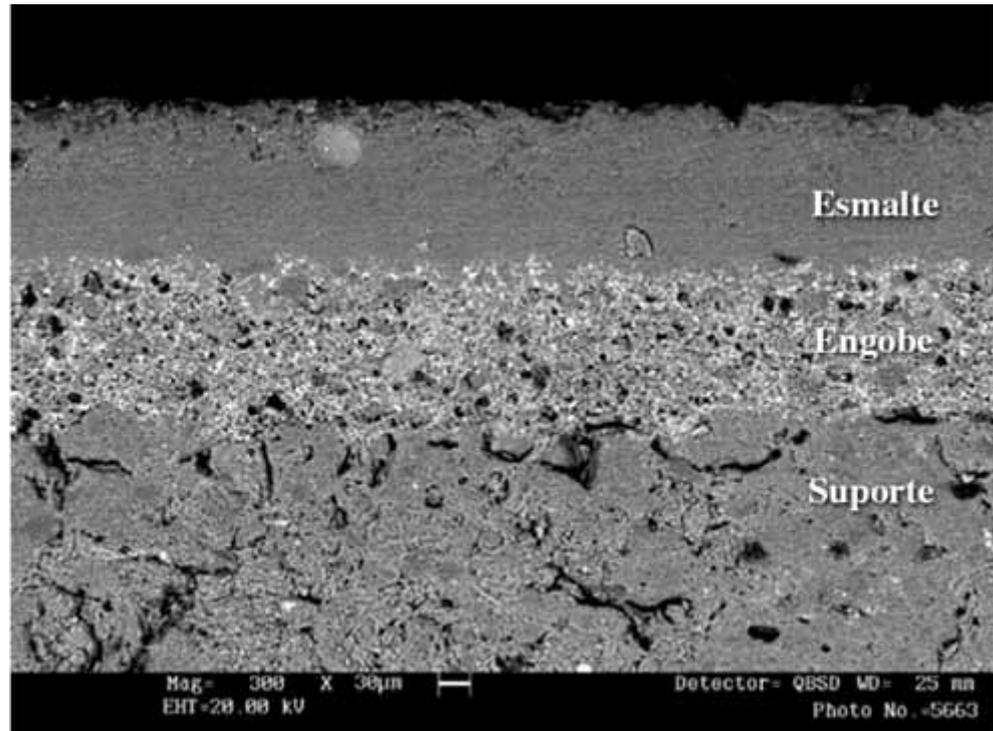
No processo de produção dos revestimentos cerâmicos são aplicadas uma camada de engobe e uma camada de esmalte sobre a placa cerâmica a fim de proporcionar ao produto um acabamento superficial de boa qualidade. Porém a aplicação dessas camadas por possuírem características de composição química diferentes em relação a placa cerâmica, podem ocasionar uma alteração na curvatura do material durante e após a queima em função das diferentes tensões e do acordo dilatométrico dos esmaltes e engobes. (RODRIGUES, 2017).

Uma das qualidades mais apreciadas nas placas cerâmicas é a sua planaridade. Esta característica é um requisito indispensável para estes produtos atualmente, cuja finalidade é revestir paredes (revestimentos) e solos (pavimentos) melhorando sua qualidade higiênica e estética. Não obstante, durante o processo de fabricação de placas cerâmicas existem vários fatores que podem alterar sua forma plana, especialmente quando se trata de peças esmaltadas conformadas por prensagem seguindo um processo produtivo típico de monoqueima. (DAL BO *et al*, 2012, p. 118).

O engobe por possuir uma composição química mais similar ao da base, geralmente 20% de frita e 80% de argila não exerce tanta influência na planaridade dos materiais. Já o esmalte que possui em sua composição de maneira sintética 20% de argila e 80% de frita exerce forte influência na planaridade dos revestimentos cerâmicos. (RODRIGUES, 2017).

A Figura 2 ilustra uma imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura, da seção transversal de um revestimento cerâmico com visualização das camadas que o compõem.

Figura 2: Imagem transversal de um revestimento cerâmico



Fonte: Dal Bo *et al.*, 2012, p. 119.

2.3 RESÍDUO DE MOAGEM

Os valores finais de resíduo no processo de moagem influenciam diretamente nas características finais do material, como: resistência mecânica, reatividade das partículas durante a queima, porosidade, empacotamento nas prensas e retração de queima. (RODRIGUES, 2017).

Os materiais cerâmicos de origem argilomineral apresentam características bastante particulares quando considerados como partículas ou como aglomerados. O controle da distribuição de tamanho das partículas de uma barbotina para fabricação de produtos cerâmicos, juntamente com outras características como a forma e o estado de agregação das partículas, são de fundamental importância na obtenção de um produto acabado de boa qualidade. (DAROLT, 2011, p. 29).

Quanto menor for o resíduo de moagem, maior será a reatividade das partículas o que facilita a formação de fases líquidas com menor temperatura de queima, facilitando assim a deformação da curvatura do material. Em contrapartida quanto maior for o resíduo de moagem menor vai ser a reatividade das partículas diminuindo a formação de fases líquidas em temperaturas mais baixas o que diminui a chances de deformação da curvatura. Outro fator importante relacionado a resíduo de moagem é a absorção de água após queima, quanto menor o resíduo menor vai ser a temperatura de queima requerida para atender um

determinado valor de absorção de água. E quanto maior o resíduo de moagem maior vai ser a temperatura requerida para atender o mesmo valor de absorção de água. (DAROLT, 2011).

2.4 PRESSÃO DE COMPACTAÇÃO

Com as prensas hidráulicas com capacidade de aplicar forças de compactação cada vez mais elevadas é possível se fazer testes com diferentes densidades nas placas cerâmicas a fim de obter-se produtos com características diferenciadas.

Quanto maior for a densificação do material cerâmico no processo de prensagem menor vai ser o efeito da planaridade durante a queima, pois a estrutura das partículas já estão de uma certa forma mais próximas o que diminui as tensões no processo da queima. (OLIVEIRA; ROSSA; GAMA, 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE PESQUISA

A investigação realizada neste estudo foi delineada a partir do nível exploratório, do tipo estudo de caso, de abordagem quantitativa. O “caso” único determinado é a curvatura dos materiais cerâmicos apresentadas na saída do forno da empresa. O nível escolhido priorizou a descoberta, neste caso, dos problemas que geraram os defeitos em algumas peças cerâmicas.

As pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista, a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores (GIL, 1999, p.43).

Com este delineamento, será possível formular hipóteses adequadas para futuras pesquisas assim como definir e delimitar adequadamente o problema central de investigação. Foi caracterizada também como empírica no momento em que foram necessárias observações sistemáticas para a análise da situação problema previamente descrita.

[...] dedicada a trabalhar a parte da realidade que se manifesta empiricamente e é, por isso, mais facilmente manejável. Em muitos lugares, aceita-se apenas esta como pesquisa, porque se confunde produção científica com experimentação. Chama-se empirismo o vício de reduzir a realidade toda à sua manifestação empírica ou à manifestação mensurável quantitativamente. (DEMO, 2012, p. 39-40).

Dessa forma conseguiu-se trabalhar com a manifestação prática da situação estudada o que conferiu fidedignidade aos resultados obtidos. O tipo de estudo realizado, “caso único” também permitiu adequação das técnicas de coleta de dados assim como uma análise coerente com a situação problema investigada.

Em outras palavras, o estudo de caso como estratégia de pesquisa compreende um método que abrange todo o tratamento da lógica do planejamento, das técnicas de coleta de dados e das abordagens específicas à análise dos mesmos. (YIN, 2005, p. 33).

Concomitantemente, a revisão de literatura foi identificada com o método escolhido e, sempre, de referenciais secundários de origem científica, obtidos nos repositórios oferecidos pela universidade.

[...] destinada a intervir diretamente na realidade, a teorizar práticas, a produzir alternativas concretas, a comprometer-se com soluções. [...] não se faz uma boa prática sem teoria, método, empiria o que determina a necessária volta permanente ao questionamento teórico, e vice-versa. (DEMO, 2012, p. 40).

Dessa forma, foi possível a avaliação sistemática dos fatores que causavam os problemas no material cerâmico, pós queima, para que fossem obtidas mensurações adequadas para a qualidade do material e a obediência às normas estabelecidas para os mesmos.

3.2 Teste de compactação

Para o teste de compactação verificou-se a força que a prensa hidráulica exercia sobre a massa cerâmica para atingir uma densidade de $2,05 \text{ g/cm}^3$ que é o padrão de produção utilizado pela empresa. Posteriormente foi realizado teste com diferente força de compactação, foram prensadas 10 peças com um aumento de 100 bares de pressão, resultando numa densidade de $2,12 \text{ g/cm}^3$. Após o teste colocou-se as peças para queimar no forno industrial da empresa e mediu-se o planar após a saída do forno, comparando com as peças da produção padrão.

3.3 Teste de resíduo

Com o objetivo de avaliar qual a influência do resíduo no comportamento da curvatura, realizou-se um teste em 20 toneladas de massa para porcelanato em escala industrial aumentando o resíduo de moagem de 2,0 à 2,5% em malha $75 \mu\text{m}$ que é o padrão de produção utilizado pela empresa para 3,0 à 3,5%. Após a moagem foi atomizado a barbotina e realizado as demais etapas do processo nas mesmas condições de produção padrão utilizados pela empresa.

3.4 Dilatação térmica linear e camada de esmalte

Para avaliar qual a influência da dilatação de um esmalte na curvatura do material, colocou-se queimar apenas os suportes sem aplicação de cobertura, e após colocou-se queimar os suportes com a camada de esmalte padrão utilizada pela empresa. O teste foi realizado num esmalte brilhante e na formulação de massa da linha de monoporosa, cuja dilatação do esmalte é de $\alpha = 57 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e da massa $\alpha = 63,3 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ esses dados de dilatação linear foram fornecidos pela empresa.

3.5 Ensaio de planaridade

O ensaio de planaridade é realizado através de um equipamento que faz a leitura em milímetros por meio de um relógio comparador. Coloca-se o equipamento sobre a peça a ser medida e observa-se o resultado indicado no relógio.

As Figuras 4 e 5 apresentam o equipamento utilizado para fazer a medida da curvatura dos materiais cerâmicos, as medidas foram realizadas com o uso de um relógio comparador com precisão de 0,01 mm.

Figura 3: Equipamento utilizado para medir a curvatura.



Fonte: Do Autor, 2017.

Figura 4: Relógio comparador com medidas em milímetro.



Fonte: Do Autor, 2017.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DO AUMENTO DE COMPACTAÇÃO

Foram prensadas algumas peças aumentando em 100 bares a pressão de compactação, quando a prensa estabilizou conferiu-se a densidade aparente e coletou-se 9 peças para posteriormente serem queimadas. Segue os dados conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Teste de compactação.

| PADRÃO | | TESTE | |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Pressão | 220 bar | Pressão | 320 bar |
| Dens. Apar. | 2,05 g/cm ³ | Dens. Apar. | 2,12 g/cm ³ |
| Planar em (mm) | | Planar em (mm) | |
| 1ª peça | 2,28 | 1ª peça | 2,23 |
| 2ª peça | 2,25 | 2ª peça | 2,10 |
| 3ª peça | 2,34 | 3ª peça | 2,17 |
| 4ª peça | 2,36 | 4ª peça | 2,10 |
| 5ª peça | 2,40 | 5ª peça | 2,07 |
| 6ª peça | 2,23 | 6ª peça | 2,20 |
| 7ª peça | 2,32 | 7ª peça | 2,21 |
| 8ª peça | 2,30 | 8ª peça | 2,15 |
| 9ª peça | 2,38 | 9ª peça | 2,11 |
| Média | 2,32 | Média | 2,15 |
| Desvio Padrão | 0,06 | Desvio Padrão | 0,06 |

Fonte: Do Autor, 2017.

Como observa-se na Tabela 1 ocorreu uma pequena diferença de planar entre o “teste” e as peças “padrão”. Sendo que o teste ficou com o planar 0,17 mm menor comparado com o padrão. Como no processo de produção normal dificilmente a pressão de compactação varia tanto como aconteceu no teste, esta variação torna-se insignificante no processo de produção.

4.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE MOAGEM

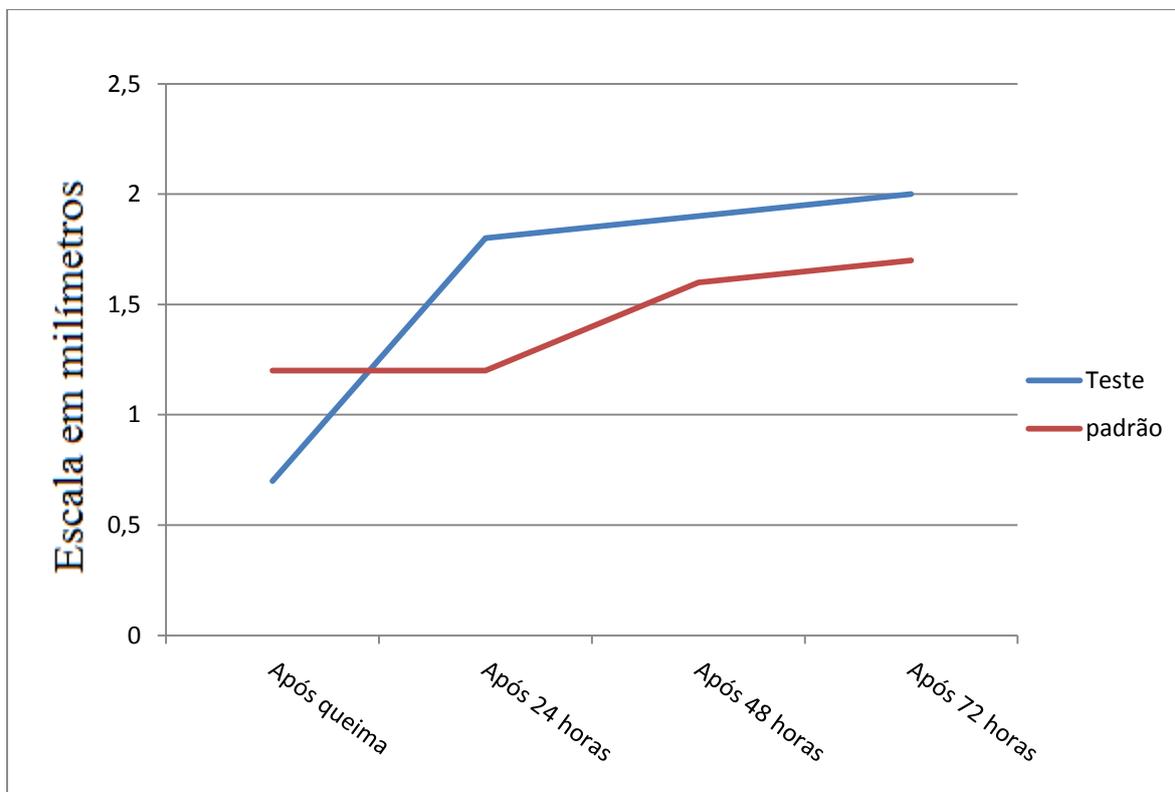
Foi observado durante 3 dias o comportamento da curvatura em relação ao teste de resíduo de moagem compreendido entre 3,0 a 3,5% e comparado com o padrão utilizado pela empresa (2,0 a 2,5%) em malha 75 μm . Este teste de resíduo foi realizado em massa de porcelanato, portanto teve-se o cuidado de realizar a absorção de água do material após a queima. Segue resultado conforme Tabela 2 e Figura 3.

Tabela 2: Comportamento de curvatura após queima.

| RESÍDUO (%) | CURVATURA (mm) | | | | TAMANHO (mm) | ABSORÇÃO (%) |
|--------------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | Após saída do forno | Após 24 horas | Após 48 horas | Após 72 horas | | |
| Resíduo Padrão 2,0 à 2,5 | 1,2 | 1,2 | 1,6 | 1,7 | 818 | 0,45 |
| Resíduo Teste 3,0 à 3,5 | 0,7 | 1,8 | 1,9 | 2 | 820 | 0,79 |

Fonte: Do Autor, 2017.

Figura 5: Comportamento de curvatura após queima



Fonte: Do Autor, 2017.

Como pode ser observado na Figura 3, o resíduo de moagem exerce influência sobre a curvatura dos materiais cerâmicos, o teste apresentou menor estabilidade em relação ao padrão utilizado pela empresa. Portanto pode-se afirmar que quanto maior for o resíduo de

moagem maior será a variação de curvatura após a queima, outro ponto negativo para o resíduo de moagem maior é a absorção de água que ficou acima de 0,5%, valor este considerado máximo para porcelanatos, conforme a norma ABNT NBR 15463: 2013.

4.3 ANÁLISE DA ATUAÇÃO DO ESMALTE EM RELAÇÃO À CURVATURA

Para avaliar a influência do esmalte foi colocado queimar 9 peças de suporte e 9 peças com aplicação de 250g de esmalte na bitola 40x90 cm (camada padrão aplicada na produção) e após a queima mediu-se o planar. A Tabela 3 apresenta os resultados.

Tabela 3: Análise da influência do esmalte

| SUPORTE | | SUPORTE + ESMALTE | |
|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| Planar em (mm) | | Planar em (mm) | |
| 1ª peça | 0,31 | 1ª peça | 3,8 |
| 2ª peça | 0,3 | 2ª peça | 3,8 |
| 3ª peça | 0,38 | 3ª peça | 3,85 |
| 4ª peça | 0,38 | 4ª peça | 3,84 |
| 5ª peça | 0,48 | 5ª peça | 3,95 |
| 6ª peça | 0,36 | 6ª peça | 3,77 |
| 7ª peça | 0,41 | 7ª peça | 3,83 |
| 8ª peça | 0,43 | 8ª peça | 3,91 |
| 9ª peça | 0,34 | 9ª peça | 3,82 |
| Média | 0,38 | Média | 3,84 |
| Desvio Padrão | 0,058 | Desvio Padrão | 0,057 |

Fonte: Do Autor, 2017.

Com base nos resultados da Tabela 3 observa-se que o esmalte exerce influência na planaridade dos revestimentos cerâmicos, onde a média da diferença do planar das peças com esmalte e sem esmalte ficou em 3,46 mm. Portanto para o processo de produção de revestimentos cerâmicos o controle da aplicação da camada de esmalte é muito importante para que não haja variações de planar no produto final.

4.4 AJUSTES NA QUEIMA

Mesmo que a diferença da dilatação do esmalte e da massa seja um fator importante na planaridade dos revestimentos cerâmicos, alguns ajustes na temperatura de queima nos fornos podem ser realizados para corrigir possíveis problemas de planaridade.

Como os fornos contínuos a rolo possuem queimadores na parte de cima e abaixo dos rolos é possível formar dois diagramas de queima, um para a parte superior e outro para a parte inferior aos rolos, dessa forma pode-se ter uma queima com diferentes temperaturas para a massa e para o esmalte.

Quando o coeficiente de dilatação do esmalte é maior que o da massa a tendência normal do material seria ficar com a curvatura côncava, ou mais conhecido por “planar negativo”, conforme Figura 6.

Figura 6: Planar negativo



Fonte: Do Autor, 2017.

Porém aumentando-se a temperatura da curva inferior curva abaixo dos rolos e diminuindo a temperatura da parte superior, desenvolve-se uma sinterização mais efetiva na parte da base do material, ocasionando uma diminuição maior das dimensões na parte da base. Esta regulagem de temperatura faz com que a tendência ao planar negativo diminua.

Da mesma forma quando o coeficiente de dilatação do esmalte é menor do que o da massa a tendência do material é ficar com a curvatura convexa, ou mais conhecida por “planar positivo”, conforme figura 7.

Figura 7: Planar positivo



Fonte: Do Autor, 2017.

Para amenizar o planar positivo deve-se proceder de maneira contrária a anteriormente citada. Aumenta-se a temperatura da curva superior e diminui-se a temperatura da curva inferior, desta forma o material tenderá a ficar menos positivo.

Para que essas regulagens de temperatura sejam efetivas no controle do planar o forno deve possuir uma alimentação de material sem que haja “vazios”, pois estes provocam uma perturbação nas temperaturas do mesmo o que implica em variações de planar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A força de compactação apesar de ser importante nos aspectos de resistência, absorção e tamanho dos produtos cerâmicos, não exerce praticamente nenhuma influência quanto a planaridade.

No teste de resíduo pode-se notar que, quanto maior o resíduo de moagem maior será a variação de curvatura, além disso, a absorção de água que é uma característica importante para os revestimentos cerâmicos ficou mais elevada, portanto o controle de resíduo é um parâmetro importante a ser monitorado no processo produtivo.

O esmalte foi o fator estudado que mais interferiu no planar, sendo assim, sua aplicação no processo produtivo deve ter um cuidado especial para que não haja variações de quantidades aplicadas entre as peças, o que certamente implicaria em variações de planaridade após a queima.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho pôde-se conhecer um pouco mais os fatores que exercem ou não influência na planaridade dos revestimentos cerâmicos, facilitando assim a avaliação dos controles que devem ser realizados no processo produtivo afim de manter a planaridade dentro dos padrões estabelecidos pela norma.

REFERÊNCIAS

- AMORÓS, J. L. A Operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial parte I: o preenchimento das cavidades do molde. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 5, p. 23–28, set. 2000.
- BOSA, A. et al. Influência do Resíduo in natura das Matérias-primas, Carga de Bolas e Resíduo Final no Tempo de Moagem via Úmida em Moinho de Bolas. **Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 6, p. 32-36, 2007.
- DAROLT, R. D. Influência da Distribuição de Tamanho de Partículas sobre a Piroplasticidade em Porcelanato Técnico em Função do Procedimento de Moagem. **Cerâmica Industrial**, v. 16, n. 3, p. 29–34, mai./ jun. 2011.
- DAL BO, M. et al . Effect of glaze and engobe properties on the curvature of ceramic tiles. *Cerâmica*, São Paulo , v. 58, n. 345, p. 118-125, Mar. 2012 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036669132012000100019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 20 Abril 2017.
- DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 206 p.
- MAGALHÃES, M.; CONTARTESIA, F.; CONSERVA, L. R. S.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Efeitos do Ciclo de Queima sobre as Temperaturas de Mínima Absorção de Água e Máxima Densificação de Porcelanatos. **Cerâmica Industrial**, v. 19, n. 2, p. 20–25, mar./ abr. 2014.
- MALLOLA, G. ; BOIXA J. ; LLORENSA, D. ; BAUTISTAA, Y. ; RODRIGOB, M. D. ; FONT, F. Desenvolvimento de um Sistema de Esmaltação Insensível às Variações de Viscosidade do Esmalte. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 3, p. 7–12, mai./ jun. 2008.
- Norma ABNT NBR 15463. Disponível em <<http://construnormas.pini.com.br/engenharia-instalacoes/pisos-revestimentos/porcelanato-341283-1.aspx>>. Acesso em 20 Abril 2017.
- OLIVEIRA, C. J.; ROSSA, P.; GAMA, R. M. Análise Experimental dos Parâmetros de Processamento que Afetam o Efeito de Curvaturas Diferidas em Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 14, n. (5/6), p. 07–10, set./ dez. 2009.
- RIBEIRO, M. J.; VENTURA, J. M.; LABRINCHA, J. M. A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 5, p. 34–40, set. 2001.
- RECCO, G. Estudo para Utilização de Energia Térmica Proveniente de Forno Cerâmico para Secagem de Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 3, p. 23–27, mai./ jun. 2008.

SCUR, Gabriela; GARCIA, Renato. Knowledge and innovation in local production systems of ceramic tiles and the new challenges of the international competition. *Prod.*, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 583-597, Dec. 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010365132008000300013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 20 Abril 2017.

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