

ESTUDO DA BLENDAGEM DE ALBITA E QUARTZO PARA USO EM COLORIFÍCIOS VISANDO REDUÇÃO DE CUSTOS

Eloisa Pedroso¹

Guilherme Silva de Souza²

Resumo: Santa Catarina tem lugar de destaque nacional na indústria de revestimentos cerâmicos, sendo a região sul do estado o polo. Dentre os tipos cerâmicos o porcelanato tem importância significativa. O porcelanato esmaltado tem maior valor agregado e procura no mercado. Contudo, a competitividade de venda buscando a formulação com menor custo vem crescendo, visando a redução do montante final da peça. O objetivo deste trabalho é a adição de quartzo no minério albita a fim de diminuir o custo do esmalte do porcelanato, visto que a matéria-prima adicionada tem menor valor agregado. Foram estudadas três amostras, que tiveram reduções percentuais de feldspato albita e aumentos percentuais de quartzo. Utilizaram-se procedimentos laboratoriais para preparação das amostras e análises químicas, físicas e de custos. Os resultados indicaram que para o Esmalte Mate, a utilização da Amostra 3, que possuía 70% de feldspato albita e 30% de quartzo, foi pouco eficiente tendo uma diminuição no preço final da formulação em 1,66%, porém por apresentar resultado com selagem satisfatória abre-se margem para a continuação do estudo com novas formulações e gradientes fazendo uso da Amostra 3. Foi ainda aplicada a blendagem na formulação de um engobe padrão de porcelanato (camada intermediária entre esmalte e suporte), neste caso a utilização da Amostra 3 (70% de feldspato albita e 30% de quartzo) se mostrou mais eficiente, diminuindo o preço da formulação final em 6,25% e com resultado de queima satisfatório. Já para uma mineradora, a blendagem do minério albita com 30% de quartzo acarretaria uma redução do custo final da matéria-prima em R\$ 150,00/t, demonstrando ser um montante bastante significativo.

Palavras-Chave: Porcelanato. Esmalte cerâmico. Blendagem. Valor agregado.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem lugar de destaque mundial na indústria de revestimentos cerâmicos. Segundo dados da ANFACER (2021), o país é o terceiro maior produtor mundial no setor cerâmico. Dentro do ramo, o porcelanato ou grés porcelanato tem grande relevância. O grés apresenta características físicas, mecânicas, estéticas e uma produção tecnológica que o fazem ser um dos produtos mais caros e procurados

¹ Graduanda em Engenharia de Minas. Ano 2021-2. E-mail: eloisapedroso1@gmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: Guilherme.souza@satc.edu.br

do mercado. “Os corpos de grés porcelanato são comumente constituídos de, aproximadamente, 55-65% de uma matriz vítrea, 20-25% de quartzo e 12-16% de mulita” (HOFFMANN, et al., 2012, p.3). Essa composição é de extrema importância para o êxito no processo, sendo que deve estar aliada às características da fabricação, principalmente com o ciclo de queima.

Os principais tipos de porcelanato são: porcelanato técnico, que tem como acabamento sua própria massa, não recebendo esmalte, e admite-se uma absorção de água de até 0,1%; e o porcelanato esmaltado, que recebe esmalte sobre a massa, e é admitido uma absorção de água de até 0,5%.

O porcelanato esmaltado tem maior valor agregado e procura no mercado. Segundo Roxo (2020), o esmalte do porcelanato possui duas funções muito importantes para a peça, sendo a função estética, com brilho e destaque para decoração do revestimento; e função técnica, pois torna a superfície hidrofóbica facilitando a remoção de substâncias que causam manchas ou sujeiras. O esmalte, também chamado de vidrado, é feito a partir da mistura de defloculantes, argilas, quartzo, feldspato e uma gama variada de óxidos e fritas.

Bruguera (1986) diz que as principais características que um esmalte deve possuir para ser considerado bom são: peso específico, viscosidade da barbotina, fusibilidade (relacionada a temperatura que o esmalte começa a fundir). Os esmaltes possuem tempo de amolecimento sendo que a granulometria tem papel muito importante para o intervalo de amolecimento. Quanto maior tamanho de partículas maior intervalo de amolecimento.

O óxido de sílica é o principal componente de todos os esmaltes cerâmicos. Sendo que a sílica quando adicionada ao esmalte ocasiona aumento de resistência química, dureza e diminui coeficiente de expansão. O quartzo, que tem alto teor de sílica, é uma matéria-prima com baixo valor agregado, e facilmente encontrada na região sul de Santa Catarina. Desta forma sua utilização em alta porcentagem na formulação proporciona baixa no preço final da peça esmaltada.

Segundo Cordeiro et al. (2012) o fundente feldspato é elementar no esmalte visto que introduz os óxidos que formam o esmalte como sílica e alumina. Quando os fundentes possuem alto teor de óxidos de sódio, potássio, cálcio e magnésio, fazem com que ocorra ponto de fusão mais baixo. Com essa menor temperatura, ocorre um menor custo energético e conseqüentemente menos custo para a empresa.

A albita é um mineral que pertence à família dos feldspatos e pode estar associada a minerais alcalinos, quartzo e muscovita. Ela é o extremo sódico dos plagioclases e na indústria cerâmica é utilizada de forma ampla como fundente.

O feldspato albita com características físicas, químicas e certo grau de uniformidade do produto, para uso na formulação, é encontrado com mais facilidade na região nordeste do país, o que resulta na alta do preço para a região sul.

Santa Catarina é líder nacional na produção de cerâmica, sendo o sul do estado o polo do setor econômico. A competitividade de venda entre as várias cerâmicas da região, fazem com que estas busquem formulações com menor valor agregado e mesmo efeito, para diminuição do valor final para o consumidor. Sendo assim, se torna interessante a pesquisa na região. Visto que a substituição desses materiais, muitas vezes importados, por materiais encontrados na região, fazem com que ocorra venda e aquecimento do mercado para as mineradoras do polo e como resultado, peças mais baratas e com mesmas características técnicas.

Devido a procura constante por alternativas economicamente mais atrativas, este trabalho busca matérias-primas substitutas às usadas com frequência no mercado, com foco no sul do estado. O foco principal do trabalho é a substituição parcial do feldspato albita (matéria-prima com maior valor agregado) que vem geralmente de outras regiões do país, pelo quartzo (menor valor agregado) que é encontrado com facilidade na região, fazendo a blendagem dos dois materiais, tendo como intuito a redução de custo da formulação final. Utilizou-se de testes de queima em laboratório e análises para se alcançar o resultado almejado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESMALTE

O surgimento do grés porcelanato se deu nos anos 70 e é associado de uma parte a uma evolução conceitual e tecnológica de todas as fases do processo produtivo, a partir da reformulação das massas até a redefinição dos ciclos de queima, e de outra parte ao desenvolvimento das técnicas de coloração e decoração (DE OLIVEIRA; ANTONIO, 1998).

Para que ocorresse avanços na monoqueima e redução do ciclo de queima se fez muito necessário o desenvolvimento de esmaltes apropriados. Segundo Davin et al. (2008), atualmente se assiste um grande investimento no desenvolvimento de fritas e esmaltes, buscando a melhoria do processo, criando-se técnicas de esmaltação.

Fritas são fabricadas através de fusão entre uma mistura de várias matérias-primas em pó. Os principais constituintes das fritas são sílica, óxidos, alumina, alcalinos-terrosos e outros metais. As fritas constituem a base principal do esmalte.

Os esmaltes são materiais com porcentagem alta de fase vítrea e se apresentam como um líquido de cor branca, ou colorida quando adicionado corantes. Seus principais constituintes são: quartzo, feldspato, alumina e caulim. O esmalte é usado tanto a baixa quanto a alta temperatura, aplicado sobre o biscoito cerâmico, com ou sem engobe. Sua temperatura habitual de queima é entre 980°-1060°, sendo que na monoqueima porosa o grês porcelanato pode atingir 1130°-1200°C.

Quando se define a seleção de matérias-primas para fórmula, é necessário manter-se a homogeneidade do lote e deve-se atender às especificações para que seja mantida a qualidade do produto, com finalidade de evitar variação na tonalidade e fundência da composição resultante (DAVIN, et al. 2008).

Um dos requisitos mais importantes do esmalte é a adaptação ao produto cerâmico. Visto que para se formar uma capa adequada é necessário que haja dilatação térmica dos dois de forma compatível.

“As características reológicas ótimas de um esmalte padrão tradicional, no caso de aplicação a campana são: densidade elevada, limite de escoamento ou escorrimento mínimo, viscosidade constante e valores tixotrópicos muito baixos” (DE OLIVEIRA; ANTONIO, p. 45, 2000). Deve também satisfazer o quesito estético que é muito importante. Para isso é necessário um controle rigoroso de todas as etapas de preparação do esmalte, que vão desde a moagem, peneiramento e armazenamento da matéria.

O engobe, utilizado em praticamente todos os revestimentos cerâmicos, atua como auxiliar importante do esmalte, visto que ele tem função de impedir que elementos cromóforos presentes no suporte o contaminem. Ele é constituído por uma mistura de matérias-primas plásticas como argila, caulim e bentonita; e não plásticas

como fritas, talco, dolomita, quartzo e feldspato. Salienta-se que os esmaltes e engobes devem ser compatíveis com o suporte da peça e as condições de queima, no contrário a qualidade da superfície esmaltada pode ser afetada.

Na Tabela 1, pode-se verificar algumas características reológicas típicas de esmaltes e engobes utilizados na indústria que foram mencionados anteriormente de acordo com estudos de De Oliveira (2000).

Tabela 1: Características reológicas típicas.

Suspensão	Viscosidade (CP)	Limite de Esc. (mPa.s)	Tixotropia (Pa/s.cm ³)
Engobe	185	3,5	125
Esmalte branco	365	2,5	110
Esmalte transparente	325	2,5	45

Fonte: De Oliveira (2000).

2.2 PRINCIPAIS COMPONENTES DO ESMALTE CERÂMICO

“Os esmaltes são camadas finas e contínuas fundamentalmente vítreas, preparadas a partir de misturas que fundem sobre a superfície cerâmica, tendo como elementos principais o feldspato, quartzo, frita, caulim e água” (DA SILVA, 2019).

Segundo Stefanov et al. (1991), a principal matéria-prima utilizada na fabricação de fritas e esmaltes crus é o quartzo ou sílica. Outro elemento essencial é o feldspato, que é o fundente mais comum e usado. Estas duas matérias-primas são utilizadas no procedimento experimental deste trabalho.

Na Tabela 2, tem-se uma adaptação do Quadro 2 retirado do artigo de Da Silva (2019), apud Eppler et al. (2000), com as principais matérias-primas, seus respectivos óxidos e funções, com foco nas matérias-primas estudadas neste trabalho.

Tabela 2: Principais matérias-primas, óxidos e funções esmalte.

Óxidos	Matérias-primas	Outros óxidos introduzidos	Função
Na ₂ O	Feldspato	K ₂ O, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	Fundente
SiO ₂	Sienito Nefelinítico	K ₂ O, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	Vitrificante
	Areia quartzosa	-	
	Feldspato	Na ₂ O, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	
	Nefelina Sienito	Na ₂ O, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	
	Caulim	Al ₂ O ₃	
	Argila	Al ₂ O ₃	

Fonte: Adaptado de Da Silva (2019), apud Eppler et al. (2000).

2.1.1 Quartzo

O quartzo tem função de equilibrar as reações de sílica e alumina, favorecendo a formação de mulita durante a queima, aumentando a resistência mecânica das peças. No esmalte, age como vitrificante, compondo a matriz vítrea. O quartzo forma uma camada fina de “vidro” que se adere a superfície cerâmica após a queima. O quartzo é rico em sílica que é muito refratária fundindo em temperaturas acima de 1700 °C.

De forma bruta, o quartzo não possui alto valor agregado. Visto que pode ser encontrado em diversos tipos de compostos comuns. Desta forma sua utilização em maior escala na formulação de esmaltes e massas cerâmicas é de alto interesse da indústria.

2.1.2 Feldspato

Feldspatos representam o grupo mineralógico mais abundante na crosta terrestre, estando presente na composição de diferentes tipos de rocha.

De acordo com Gilbertoni (2004), na massa cerâmica o feldspato desempenha função de fundente, visto que proporciona as primeiras fases líquidas que surgem durante a queima. No porcelanato, deve-se ao feldspato a elevada gresificação e alta resistência mecânica da peça.

No esmalte, o feldspato também é o fundente mais comum utilizado, devido principalmente ao sódio e potássio. O fundente é responsável por diminuir a temperatura de fusão dos materiais refratários como sílica. É utilizado para inserir de forma simultânea os principais óxidos formadores do esmalte, sendo a sílica, a alumina e os principais óxidos alcalinos.

De acordo com Bayrakar e Çakir (2002), na região de Cine-Milas, Turquia, o minério albitico britado e peneirado, quando não feito o processo de lavra seletiva, tem composição química típica vista na Tabela 3. Para se obter uma albíta com maior alvura na indústria cerâmica é importante fazer a separação magnética, para remover minerais que contenham ferro, tais como biotita, granada e turmalina.

Tabela 3: Composição química típica de um feldspato sódico.

Composto	Teor (%)
Na ₂ O	8,5-10,6
K ₂ O	0,25-1,5
Fe ₂ O ₃	0,04-0,30
TiO ₂	0,20-0,40

Fonte: Bayraktar e Cakir (2002).

2.3 FELDSPATO ALBITA E QUARTZO UTILIZADOS NO TRABALHO

As matérias-primas utilizadas no procedimento experimental deste trabalho são provenientes de duas regiões distintas do país, com origens geológicas diferentes.

O feldspato albita foi extraído de uma área de mineração próxima a cidade de Sete Lagoas, localizada a aproximadamente 72 quilômetros de Belo Horizonte capital do estado de Minas Gerais. Área pertencente a empresa Petramar. Na geologia deste local encontra-se o Pegmatito. De acordo com o Instituto de Geociências da USP (2021), pegmatito é uma rocha ígnea plutônica ou intrusiva, composta essencialmente por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e minerais raros, com textura fanerítica grossa. O pegmatito tem grande importância econômica, voltado a produção de gemas e materiais para construção (feldspato e argilominerais).

O quartzo utilizado no trabalho é proveniente de uma área de extração mineral localizada na cidade de Jaguaruna, a 150 quilômetros de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina. A geologia desta região é composta por sedimentos quaternários, do depósito litorâneo. Este tipo de formação encontra-se disposta em região próxima a linha de costa atual, sendo constituída basicamente por sedimentos quaternários essencialmente arenosos típicos dos ambientes marinho praias e eólicos, sendo predominante os sedimentos siltsos e argilosos.

2.4 PROPRIEDADES IMPORTANTES DA QUEIMA DO ESMALTE CERÂMICO

A viscosidade é uma propriedade muito importante para o esmalte. Esta propriedade indica em sua temperatura de queima, a fluidez do esmalte sobre a peça cerâmica, para que se forme uma camada com uniformidade. Ela também indica a facilidade que uma bolha de ar pode sair da película de esmalte durante a queima. Da Silva (2019), utiliza em seus ensaios como padrão de queima a viscosidade de 55,2.

A fusibilidade representa a quantidade de líquido formada durante o patamar de queima do material. Podendo ter alteração em suas propriedades dependendo da adição de óxidos formadores de vidro, modificadores de rede e intermediários.

A dilatação térmica é outra propriedade bastante importante no esmalte cerâmico. Segundo Da Silva (2019), quando ocorre aquecimento de um material, sua energia interna aumenta causando amplitude de vibração atômica. O aumento de vibração distancia os constituintes característicos de cada material. O coeficiente de aumento é verificado pelo aumento do comprimento por unidade de comprimento causado pela elevação de 1°C de temperatura.

A cor de queima resulta da absorção e/ou reflexão dos raios de luz que partem do interior do esmalte. A propriedade brilho se dá pela capacidade da superfície de esmalte refletir a luz, e pode ser estimado por equipamentos específicos chamados brilhômetros.

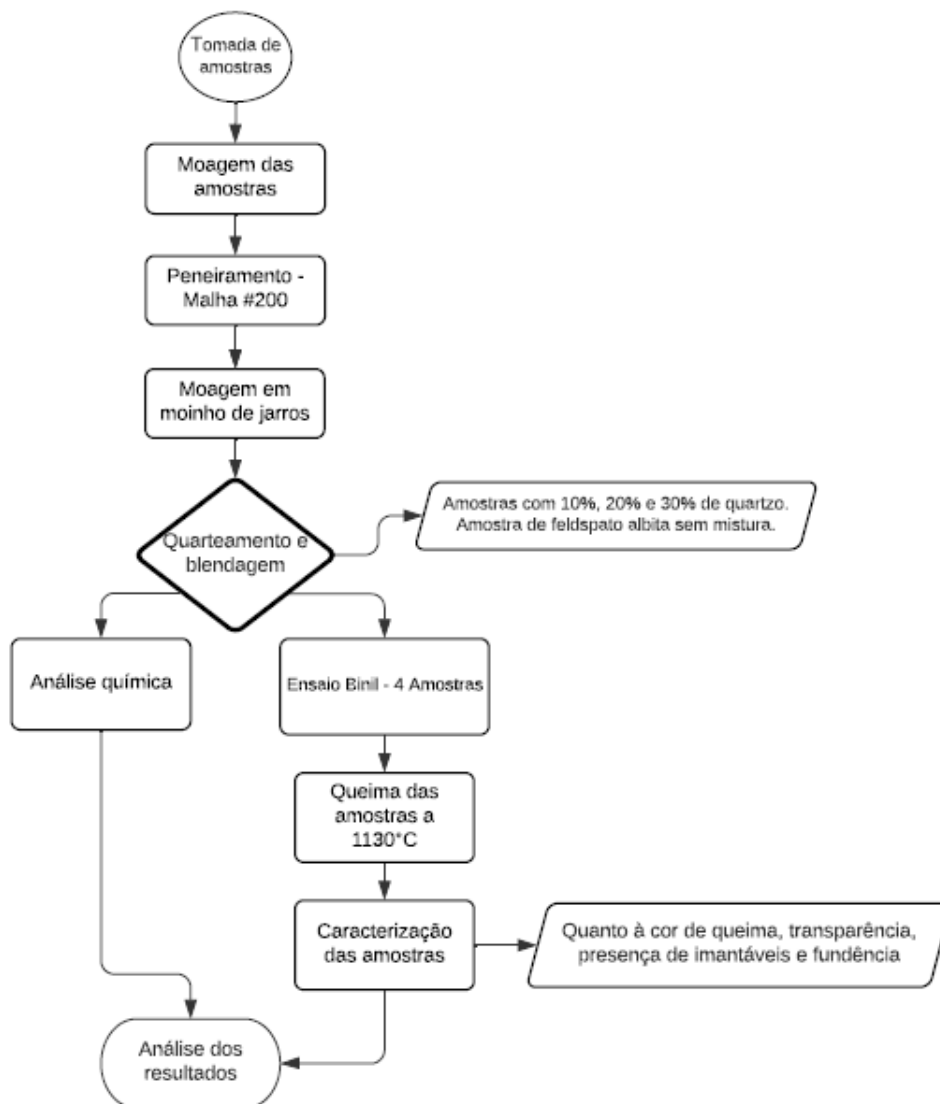
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão apresentados os materiais, equipamentos e procedimentos utilizados para o desenvolvimento do procedimento experimental. As atividades práticas foram realizadas no Laboratório de Beneficiamento Mineral do curso de Engenharia de Minas da UNISATC. O ensaio para análise física das amostras foi realizado na empresa Novacolor Beneficiamento e Moagem, localizada na cidade de Criciúma/SC. As análises químicas foram realizadas em laboratório autorizado na cidade de Tijucas/SC.

Para o procedimento experimental utilizou-se uma quantidade de quartzo retirada de uma área de lavra localizada na cidade de Jaguaruna/SC, com geologia composta basicamente por sedimentos quaternários, e localização próxima a Criciúma/SC, foco do estudo. O Feldspato Albita utilizado neste trabalho é proveniente de região próxima à cidade de Sete Lagoas/MG, com geologia predominante de pegmatitos.

A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas do trabalho.

Figura 1: Fluxograma das etapas.



Fonte: Da autora (2021).

3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram extraídas das localizadas citadas e foram direcionadas para o laboratório da UNISATC. Então foram submetidas ao moinho de jarros localizado no laboratório mencionado anteriormente, cada amostra ficou em média 30 minutos no moinho para que assim atingissem uma granulometria desejável para serem passantes na peneira do processo subsequente. A amostra de feldspato albita anteriormente ao processo de moagem e o moinho utilizado no procedimento podem ser vistos nas Figuras 2 e 3.

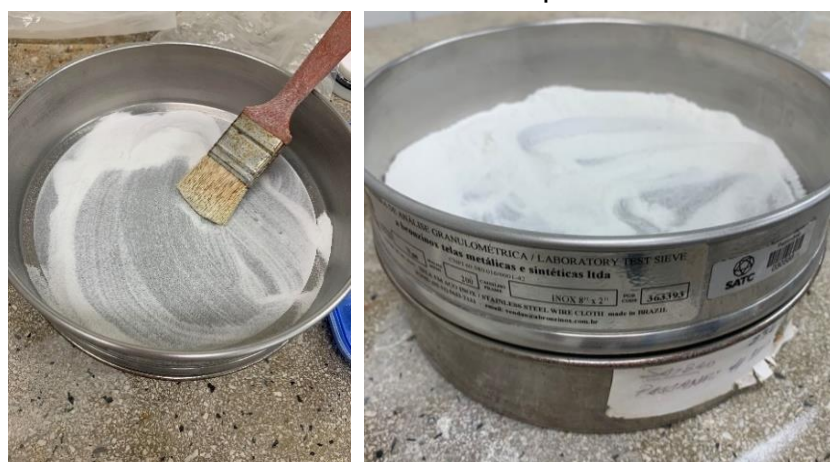
Figura 2: Feldspato albíta antes da moagem. Figura 3: Moinho de jarros Thermoceram.



Fonte: Da autora (2021).

Posteriormente a moagem, as amostras passaram pelo processo de peneiramento para em sequência serem quarteadas. O processo seguiu a NBR 3310, e foi utilizado a peneira com malha #200 mesh (0,075 mm) e um pincel com cerdas firmes para auxiliar no processo. A malha #200 mesh por ser a mesma granulometria utilizada nos coloríficos, e por ser a granulometria que os produtos são comercializados. Este processo de peneiramento durou cerca de 5 horas e foi realizado no laboratório da UNISATC. Nas Figuras 4 e 5 pode-se ver o processo de peneiramento sendo realizado com a matéria-prima.

Figuras 4 e 5: Procedimento de peneiramento do feldspato albíta na peneira malha #200 mesh com auxílio de pincel.

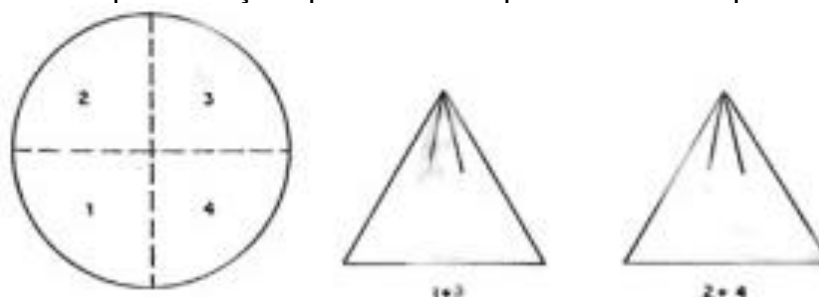


Fonte: Da autora (2021).

Após o procedimento de peneiramento as amostras foram quarteadas de forma manual, com o método de pilha cônica. Este processo é utilizado quando

deseja-se amostrar uma quantidade de material reduzida. Visando a divisão das amostras globais de feldspato albita e quartzo em alíquotas de menor massa. A amostra de feldspato albita foi colocada em forma de cone e dividida em quatro partes iguais, igualmente foi feito para a amostra de quartzo. Desta forma obteve-se as divisões das amostras desejadas. Na Figura 6 pode-se ver a representação de quarteamento pelo método aplicado.

Figura 6: Representação quarteamento pelo método de pilha cônica.



Fonte: Site: Técnico em Mineração. Dicas de amostragem. 2013.

3.2 PESAGEM E BLENDAGEM

Posteriormente iniciou-se o processo de pesagem das amostras e blendagem dos dois materiais, com seus quantitativos determinados.

Na Tabela 4 pode-se ver os constituintes em percentual que foram utilizados nas formulações para análise.

Tabela 4: Percentual constituinte amostras.

Matéria-prima	AMOSTRA 1 F90Q10	AMOSTRA 2 F80Q20	AMOSTRA 3 F70Q30
Feldspato Albita	90%	80%	70%
Quartzo	10%	20%	30%

Fonte: Da autora (2021).

As amostras F90Q10, F80Q20, F70Q30 foram depois analisadas tendo como intuito o melhor resultado esperado na amostra F70Q30, amostra com menor valor agregado.

Com os percentuais determinados, foi feito então o quantitativo das matérias-primas para cada amostra em gramas. Na Tabela 5 pode-se ver estes

quantitativos. Para as análises química e física também foram utilizadas amostras de feldspato albita sem mistura, para que assim fosse analisado suas qualidades para uso na indústria.

Tabela 5: Percentual constituinte amostras, sendo duas amostras de cada tipo. Uma para análise física e uma para análise química.

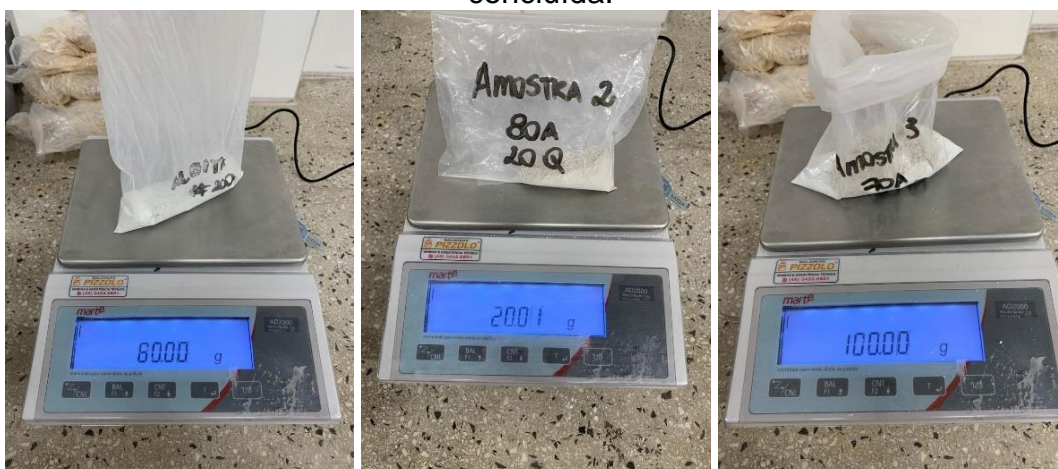
Matéria-prima	AMOSTRA 1 F90Q10	AMOSTRA 2 F80Q20	AMOSTRA 3 F70Q30	AMOSTRA 4 AF
Feldspato Albita	90 g	80 g	70 g	100 g
Quartzo	10 g	20 g	30 g	-
Total	100 g	100 g	100 g	100 g

Fonte: Da autora (2021).

Desta forma iniciou-se o processo de pesagem das amostras. Este processo foi feito no laboratório da UNISATC e durou cerca de 2 horas. Foi utilizado para o processo uma balança eletrônica de precisão com capacidade de 2010 g e precisão de 0,01 g, modelo AD200, da Marte. As amostras já foram pesadas em sacos plásticos que foram levados ao laboratório onde foram realizadas as análises químicas e queima dos binis.

Nas Figuras 7, 8 e 9 pode-se ver algumas pesagens realizadas durante o procedimento.

Figura 7: Pesagem da amostra F80Q20 com 80 g de quartzo. Figura 8: Pesagem amostra F80Q20 com 20 g de feldspato albita. Figura 9: Pesagem amostra F70Q30 concluída.



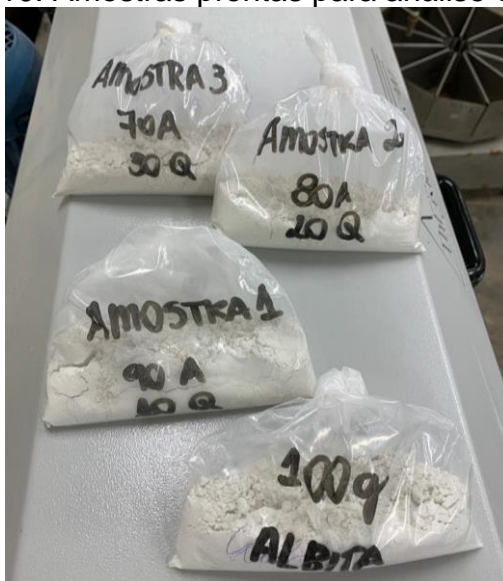
Fonte: Da autora (2021).

Com a finalização da pesagem das amostras, tendo todas peso final 100 g, fez-se a blendagem manual das mesmas. Para que assim ficasse uma amostra homogênea de feldspato albita + quartzo para as posteriores análises.

Com o término desta etapa conclui-se os procedimentos no Laboratório de Beneficiamento Mineral do curso de Engenharia de Minas da UNISATC.

Na Figura 10 pode-se ver as quatro amostras prontas para análise química em laboratório de Tijucas/SC.

Figura 10: Amostras prontas para análise química.



Fonte: Da autora (2021).

A determinação da análise química quantitativa dos materiais foi realizada pelo ensaio via Espectrometria de Fluorescência de Raio-X (FRX), utilizando o equipamento Espectrômetro Epsilon 3XLE Panalytical, com pastilha fundida.

Para análise física foram utilizadas amostras iguais as primeiras. Estas foram encaminhadas para empresa Novacolor Beneficiamento e Moagem, localizada as margens da Rodovia BR-101, no sul do estado de Santa Catarina. Lá o técnico responsável orientou e acompanhou os procedimentos do ensaio.

3.3 PROCEDIMENTO ENSAIO BINIL

O ensaio Binil foi adotado pela indústria de coloríficos e cerâmicas da região a fim de determinar de forma eficiente características físicas importantes no

aspecto visual que uma formulação pós-queima para que possa ser utilizado como engobe, fritas cerâmicas e esmalte. Algumas das características são: brilho (fundência), cor de queima (opacidade e brancura) e imantáveis.

Com as amostras vindas do Laboratório da UNISATC, nas seguintes condições: passante na malha #200 e com a blendagem quartzo/feldspato albita, foram pesadas e submetidas ao moinho de jarros semelhante ao usado na preparação das amostras Figura 3, no tempo determinado na Tabela 6. Estes procedimentos podem ser vistos nas Figuras 11 e 12.

Tabela 6: Fórmula padrão utilizada para ensaio matéria principal albita, disponibilizada pela empresa Novacolor.

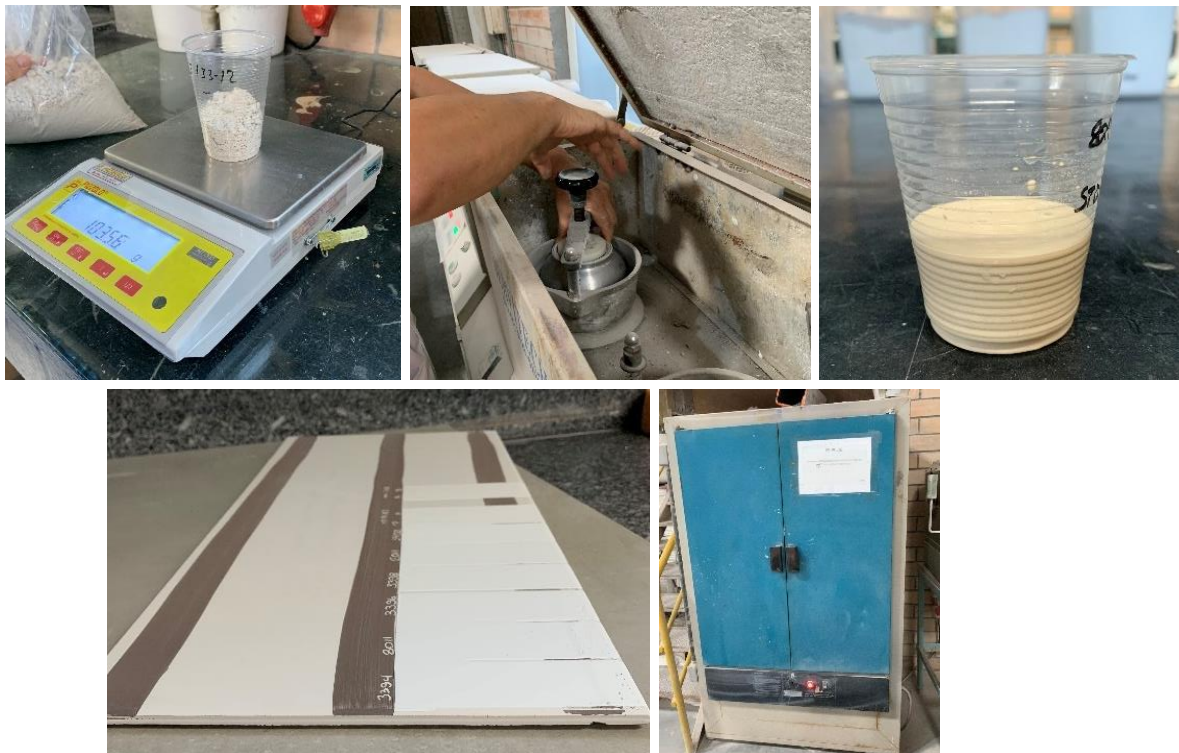
Matéria- prima	Frita transp. Moída (%)	Matéria- prima	Água (mL)	Moagem (minutos)
Feldspato Albita (MP 12.)	60	40	50	5

Fonte: Novacolor Beneficiamento e Moagem. Adaptado. (2021).

Depois que as 4 amostras foram submetidas ao moinho de jarros, foi dado sequência ao procedimento adicionando-se 50 ml de água em cada amostra disposta em copo plástico, conforme padrão Tabela 6, isso pode ser visto na Figura 13. Em seguida, depois de todas as amostras serem homogeneizadas com água, elas foram despejadas em uma peça cerâmica com o auxílio de um binil 0,4 mm. As 4 amostras foram despejadas e aplicadas lado a lado. A amostra padrão utilizada pela empresa (Albita Romagna) foi aplicada ao lado delas, para efeito de comparação dos resultados (Figura 14).

Após estes procedimentos a placa cerâmica com as 4 formulações deste trabalho (F90Q10, F80Q20, F70Q30, AF) e a fórmula padrão (Albita Romagna) foi levada para tratamento térmico através da queima em um forno Mufla com ciclo total de queima de 20 minutos, a temperatura máxima de 1130°C (Figura 15).

Figura 11: Pesagem das amostras. Figura 12: Amostras submetidas ao moinho de jarros por 5 minutos. Figura 13: Mistura com água. Figura 14: Peça cerâmica semelhante a utilizada no ensaio. Figura 15: Mufla.



Fonte: Da autora (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos nas análises químicas das 4 amostras que são foco deste trabalho.

Tabela 7: Determinação da análise química quantitativa.

Materiais/ óxidos (%)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4
	F90Q10	F80Q20	F70Q30	AF
SiO ₂	75,81	78,07	81,38	75,39
Al ₂ O ₃	14,83	13,66	11,18	16,02
K ₂ O	1,34	1,21	1,06	1,46
Na ₂ O	5,33	4,68	4,23	5,95
Fe ₂ O ₃	0,16	0,15	0,14	0,16
TiO ₂	0,07	0,07	0,07	0,07
CaO	1,22	1,11	0,93	1,36
MgO	0,22	0,13	0,13	0,28
Mn ₂ O ₃	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P ₂ O ₅	0,05	0,04	0,05	0,06
SO ₃	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Perda ao Fogo	0,95	0,85	0,79	1,00

Fonte: Laboratório Safira Soluções Mineraias (2021).

Dois dos principais parâmetros verificados nestas análises amostrais referem-se aos teores de ferro e titânio, visto que a presença desses óxidos corantes é indesejável na indústria cerâmica. Pode-se perceber que o teor de titânio (TiO_2) manteve-se constante a medida em que se aumentou a porcentagem de quartzo na amostra. Além disso, percebe-se que com a adição percentual da sílica (quartzo) o óxido de ferro (Fe_2O_3) teve uma redução gradativa. Estes fatores são pontos positivos das análises realizadas.

Outro fator positivo apresentado nas análises químicas foi com relação a perda ao fogo. A perda ao fogo representa os fatores: matéria orgânica, água de constituição e carbonatos, produtos da queima das amostras. Com o aumento do quartzo houve uma redução de perda ao fogo em percentual de 5% para Amostra 1, 15% para Amostra 2 e 21% para a Amostra 3, quando comparado a Amostra 4 100% feldspato albita.

Pode-se observar ainda no resultado das análises, a diluição gradativa da alumina (Al_2O_3) que reduziu em 30,21% quando comparado Amostra 4 AF com amostra mais econômica Amostra 3 F70Q30; a diluição gradativa do potássio (K_2O) que reduziu em 27,39% quando comparado Amostra 4 AF com amostra mais econômica Amostra 3 F70Q30; e a diluição gradativa do sódio (Na_2O), que reduziu em 28,90% quando comparado Amostra 4 AF com amostra mais econômica Amostra 3 F70Q30. Estes fatores são bastante relevantes para o resultado do trabalho, além disso com as análises físicas é possível verificar a tolerância destas reduções para a viabilidade da Amostra 3.

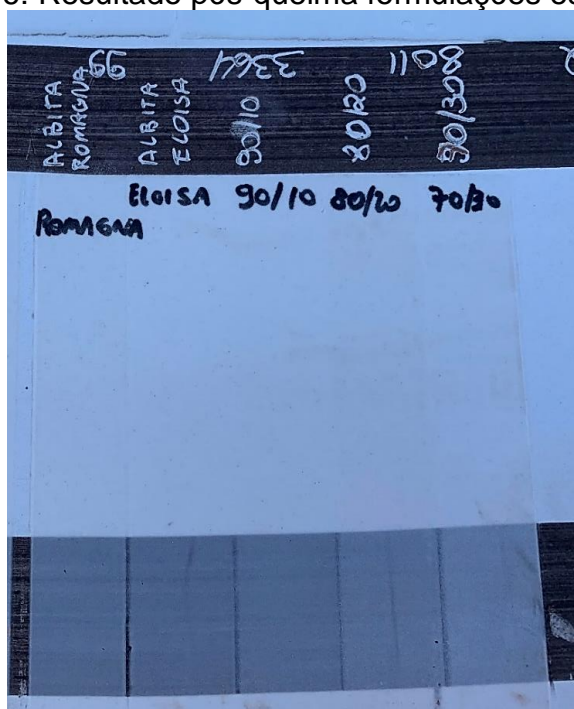
A Figura 16 apresenta no resultado da queima da peça cerâmica em mufla com as 4 formulações + formulação padrão ensaiadas.

Com a peça e auxílio do supervisor técnico de controle de qualidade, pesquisa e desenvolvimento da Novacolor, tecnólogo em cerâmica Celso Joaquim, foi possível analisar os resultados da queima.

Para o brilho constatou-se que a medida em que a porcentagem de quartzo aumentou na fórmula o brilho diminuiu, e ainda percebe-se que a Amostra 3 (F70Q30) está levemente mais fosca que a amostra padrão Romagna, desta forma encontra-se dentro do padrão de formulação. Com a fundência observou-se o mesmo que ocorreu com o brilho, quanto maior a porcentagem de quartzo menor a fundência. Com relação a cor de queima, foi possível constatar que quanto maior o percentual de quartzo maior

a opacidade da massa e também maior a brancura, este fato é bastante interessante para a formulação do engobe. Sobre os pontos pretos (imantáveis) constatou-se que está de acordo com o padrão.

Figura 16: Resultado pós-queima formulações estudadas.



Fonte: Da autora (2021).

A partir deste resultado foi possível constatar que seria interessante a utilização destes com formulações de Engobe e Esmalte Mate, padrões da empresa. Substituindo, parcialmente ou totalmente alguns itens com alto valor agregado pela formulação em questão.

A primeira formulação testada foi o Engobe cuja formulação padrão e nova formulação com incremento da Amostra 3 (F70Q30), fórmula de menor valor, encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8: Formulação engobe padrão Novacolor e teste Amostra 3.

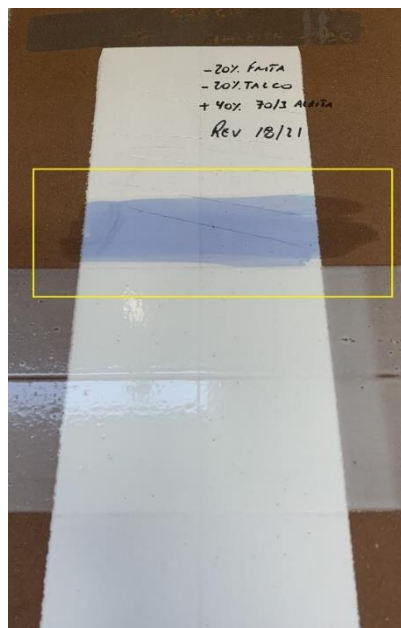
Matéria-prima	PADRÃO (%)	TESTE (%)
Frita branca	22,00	17,60
Quartzo	19,00	19,00
Argila 1	19,54	19,54
Argila 2	6,00	6,00
Vidro	11,00	11,00
Dolomita	6,00	4,80
Talco	16,00	16,00
Hexamafosfato de sódio	0,40	0,40

CMC	0,06	0,06
Amostra 3	---	5,60
Total	100,00	100,00

Fonte: Da autora (2021).

Pode-se verificar, de acordo com a Tabela 8, que a formulação testada teve uma diminuição de 20% da matéria-prima Frita Branca e diminuição de 20% da matéria-prima dolomita, estes dois materiais possuem alto valor agregado. Os resultados deste teste mostraram que o material acrescentado ao engobe se aproxima bastante do padrão da empresa pós-queima. Com esta nova formulação perdeu-se um pouco da opacidade. Pode-se verificar ainda, de acordo com a Figura 17, com a passagem do pincel contendo azul de metileno (teste padrão realizado para verificar a fusibilidade e dilatação do componente) não sofreu variação, sendo assim um ponto positivo ao teste.

Figura 17: Peça pós-queima com aplicação do Engobe Padrão e Engobe Teste. Em amarelo, teste com azul de metileno demonstrando resultado satisfatório.



Fonte: Da autora (2021).

A segunda formulação testada foi o Esmalte Mate padrão da empresa, sendo substituída a matéria-prima Albita utilizada na fórmula pela blendagem Feldspato Albita e Quartzo da Amostra 3. A formulação padrão e a nova formulação testada encontram-se na Tabela 9.

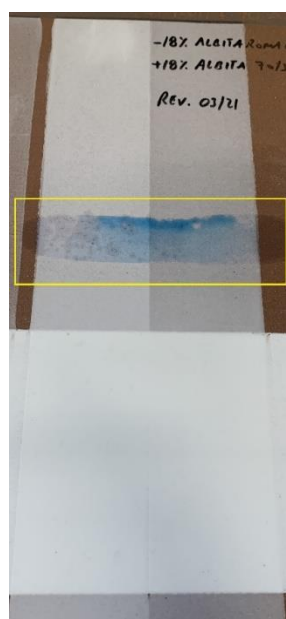
Tabela 9: Formulação Esmalte Mate padrão Novacolor e teste Amostra 3.

Matéria-prima	PADRÃO (%)	TESTE (%)
Frita Mate	34,99	34,99
Frita transparente	22,00	22,00
Frita branca	4,55	4,55
Caulim	10,00	10,00
Albita romagna	18,00	---
Vidro 2	10,00	10,00
Hexamafosfato de sódio	0,40	0,40
CMC	0,06	0,06
Amostra 3	---	18,00
Total	100,00	100,00

Fonte: Da autora (2021).

Conforme Tabela 9, houve uma redução na nova formulação de 18% de Albita Romagna (material utilizado pela empresa) com alto valor agregado, por 18% da blendagem albita/quartzo. A nova formulação foi analisada sendo verificado que a matização do novo esmalte diminuiu um pouco, e com a passagem do pincel contendo azul de metileno (teste padrão realizado para verificar a fusibilidade e dilatação do componente) não foi absorvido pelo esmalte, ponto positivo, visto que este resultado indica que não houve dilatação do esmalte com esta mudança na formulação (Figura 18). Estes fatores são bastante importantes, visto que novas formulações podem ser testadas a partir do teste inicial.

Figura 18: Peça pós-queima com aplicação do Esmalte Mate Padrão e Esmalte Teste. Em amarelo, teste com azul de metileno demonstrando resultado satisfatório



Fonte: Da autora (2021).

4.1 ANÁLISE DE CUSTOS

Após os procedimentos experimentais, tanto da utilização da blendagem no Engobe quanto no Esmalte Mate, foi possível analisar o resultado em valores agregados finais de cada formulação.

De acordo com levantamento de mercado realizado foi possível verificar que o custo médio do somatório de lavra, beneficiamento e transporte do feldspato albita até a região de Criciúma/SC é de R\$600,00/t. E o custo médio do somatório lavra, beneficiamento e transporte do quartzo até a região de Criciúma/SC é de R\$100,00/t.

O comparativo do valor final do engobe e Esmalte Mate com a substituição de matérias-primas pela blendagem Amostra 3, pode ser visto nas Tabelas 10 e 11. Os valores de referência foram estimados pela empresa Novacolor.

Tabela 10: Valor final da fórmula padrão do engobe e formulação teste Amostra 3.

Matéria-prima	CUSTO (R\$/KG)	PADRÃO (R\$)	TESTE (R\$)
Frita branca	1,06	0,23	0,18
Quartzo	0,17	0,03	0,03
Argila 1	0,23	0,04	0,04
Argila 2	0,25	0,015	0,015
Vidro	0,48	0,05	0,05
Dolomita	0,20	0,012	0,009
Talco	0,35	0,05	0,05
Hexamafosfato de sódio	11,26	0,04	0,04
CMC	17,00	0,01	0,01
Amostra 3	0,45	---	0,025
Valor total (R\$/kg)		0,48	0,45
Valor total (R\$/tonelada)		480,00	450,00

Fonte: Da autora (2021).

Pode-se verificar que, de acordo com a tabela 10, a partir do valor total das amostras padrão e teste Amostra 3, para a nova formulação amostra 3 houve uma redução em 6,25% no custo final da formulação para ser utilizado pela indústria se mostrando eficiente no critério valor agregado.

Tabela 11: Valor final da fórmula padrão do Esmalte Mate e formulação teste Amostra 3.

Matéria-prima	CUSTO (R\$/KG)	PADRÃO (R\$)	TESTE (R\$)
Frita Mate	1,79	0,63	0,63
Frita transparente	1,07	0,23	0,23

Frita branca	1,06	0,05	0,05
Caulim	0,76	0,08	0,08
Albita romagna	0,58	0,10	---
Vidro 2	0,67	0,07	0,07
Hexamafosfato de sódio	11,26	0,04	0,04
CMC	17,00	0,01	0,01
Amostra 3	0,45	---	0,08
Valor total (R\$/kg)		1,21	1,19
Valor total (R\$/tonelada)		121,00	119,00

Fonte: Da autora (2021).

Pode-se verificar que, de acordo com a Tabela 11, a partir do valor total das amostras padrão e teste Amostra 3, para a nova formulação Amostra 3 o resultado foi pouco eficiente tendo uma diminuição no montante final da formulação em 1,66%.

Já no caso de uma mineradora, quando se compara o valor absoluto do minério albita de R\$600,00/t, com a blendagem da Amostra 3 com 30% de quartzo, tem-se uma redução do custo para R\$450,00/t. Este valor final é bastante significativo visto que a mineradora teria um lucro de R\$150,00/t. Uma empresa que vende, por exemplo, 2.000 t (toneladas) de matéria-prima por mês teria um lucro final de R\$300.000,00/mês. A redução seria de 25% para esta matéria-prima, sendo um resultado bastante significativo.

5 CONCLUSÕES

Por meio das análises químicas pode-se ver que a inserção do quartzo e blendagem com albita teve um aspecto positivo com relação aos principais óxidos indesejáveis na formulação de quaisquer esmaltes, engobe, fritas e até mesmo na massa cerâmica, demonstrando um aspecto bastante positivo na amostra 3 F70Q30, de menor valor agregado. Esta amostra teve resultados de brilho e fundência de acordo com padrão utilizado pela indústria de coloríficos.

Com relação a análise física e custos da formulação teste para engobe é possível constatar que se aproxima bastante de queima utilizado pela indústria de coloríficos. E ainda que a redução de custo desta nova formulação se mostrou atrativa. A Amostra 3, F70Q30, se mostrou eficiente e possível de uso na formulação. Novos estudos com diferentes formulações devem ser estudados para se chegar ao padrão ideal de queima/custo da fórmula.

A nova formulação do Esmalte Mate com utilização da Amostra 3 apresentou-se também interessante para a indústria, ainda que ocorra uma alguma diferença na cor de queima. Com relação a custos, com esta formulação não se mostrou tão atrativa, devendo ser feito novos testes com diferentes formulações buscando um padrão ideal com redução de custos para a indústria.

Já para mineradoras, esta blendagem se mostrou interessante tendo uma redução no preço da matéria-prima em 25%.

Sendo assim, se torna interessante a continuação dos estudos referentes a estas formulações, com substituição de outros percentuais de materiais com maior valor buscando a formulação ideal que engloba custo/qualidade. Fica como sugestão para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13818/1997. **Placas cerâmicas para revestimentos – Especificações e métodos de ensaio**. Rio do Janeiro, 1997.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 3310/2010. **Peneiras de Ensaio: Requisitos Técnicos e Verificação**. Rio do Janeiro, 2010.

ANFACER. **Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres**. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/noticias/exportacoes-do-setor-ceramico-tem-melhor-abril-de-serie-historia>>. Acesso em: 22 março 2021.

BRUGUERA, Jordi. **Manual Práctico de Cerámica**. Ediciones Omega S.A., 1986.

CORDEIRO, Taís da S. **Desenvolvimento de esmalte com matérias-primas cruas**. Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, SC, 2012.

DAVIM, L. F., OLIVEIRA, H. J. C., FERNANDES, M. H. V. **Desenvolvimento de Novos Esmaltes de Alta Temperatura para Vitrocerâmicos de Grês Porcelanato**. Universidade de Aveiro e CICECO. Aveiro, Portugal, 2008.

DA SILVA, Rodrigo F. **Aplicação Industrial de Design de Experimentos (DOE) no Estudo da Substituição da Frita em Esmaltes Cerâmicos Transparentes**. Dissertação de Pós-Graduação, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2019.

DE OLIVEIRA, Antonio P. N. **Grês Porcelanato: Aspectos Mercadológicos e Tecnológicos**. Artigo da Universidade Federal de Santa Catarina. Cerâmica Industrial. Florianópolis, Santa Catarina, 1998.

DE SOUZA, Richard M., MONTEADO, Oscar R. K. **Melhoria de Qualidade e Redução de Custos de Produção com a Reformulação de Massa de Porcelanato Técnico**. Cerâmica Industrial. 2017.

GILBERTONI, Claudia. **Desenvolvimento de um novo fundente para substituir o feldspato em composições de grês porcelanato**. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Carlos. São Carlos, São Paulo, 2004.

HOFFMAN, F.S., DOS SANTOS, G. MORELLI, M.R. **Estudo de fundente e argilito com potencial para uso em formulações de porcelanato**. Universidade Federal de S. Carlos. São Carlos, São Paulo 2012.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA USP. **Pegmatito**. Disponível em: <<https://didatico.igc.usp.br/rochas/igneas/pegmatito/>>. Acesso em: 14 novembro 2021.

RODRIGUEZ A. M., PIANARO S. A., BERG E. A. T., SANTOS A. H. **Seleção de Matérias-Primas da Região Sul do Brasil para a Produção de Gres Porcelanato Branco**. Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Associação Brasileira de Cerâmica. João Pessoa, PB, 2003.

ROXO, Roberto S. **Relatório de estágio supervisionado desenvolvido na indústria Portobello: Organização e desenvolvimento de um banco de dados para esmaltes cerâmicos**. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis, SC, 2020.

STEFANOV, Stefano; BASTSCHWAROV, Svetlan. **Smalti Ceramici**. Faenza Editrice. Itália, 1991.

TÉCNICO EM MINERAÇÃO. **Dicas de Amostragem por Marcos Lopes**. Ano de publicação: 2013. Publicado em: <https://tecnicoemineracao.com.br/dicas-amostragem-eficiente/>. Acesso em: outubro, 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para elaboração deste artigo. Especialmente ao professor orientador Guilherme Silva de Souza que se fez presente em todo o trabalho, a empresa Novacolor Beneficiamento e Moagem juntamente ao tecnólogo Celso Joaquim pelo auxílio em laboratório, minha família e namorado pelo apoio durante todo este ano.