

Reformulação de Massas para Pavimentos Cerâmicos Fabricados pelo Processo de Monoqueima

Amanda do Livramento^a, Maurício Moliner Nazário^a, Rick Alison Domingos^a, Agenor de Noni Junior^{a,b,c}, Reginaldo Tassi^{a,b}, Maykon Cargnin^{a,b,c*}

^a Colégio Maximiliano Gaidzinski, Cocal do Sul, SC, Brasil

^b Instituto Maximiliano Gaidzinski, Cocal do Sul, SC, Brasil

^c Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, Brasil

*e-mail: maykon.cargnin@gmail.com

Resumo

A fabricação de revestimentos cerâmicos está em constante mudança, principalmente na busca de melhorias do processo produtivo e evolução das características técnicas dos produtos. Os revestimentos cerâmicos são dependentes das características técnicas das matérias-primas utilizadas em sua composição. As matérias-primas não são perenes, portanto, tem-se a necessidade de buscar alternativas para uma substituição ou também em função do custo de produção, mas deve-se sempre manter ou melhorar as qualidades do produto final. O presente trabalho trata-se de um estudo para a otimização de massa de um pavimento de monoqueima (BIIa) fabricado por via úmida. A otimização consiste em melhorar as características técnicas e reduzir os custos das composições, comparando-as com uma massa padrão. As matérias-primas foram individualmente caracterizadas fisicamente, a fim de auxiliar na escolha das mesmas na elaboração das composições otimizadas. As características técnicas avaliadas das matérias-primas foram à massa específica aparente, resistência mecânica a flexão, retração linear, absorção de água e perda ao fogo. A partir destas informações, foram elaboradas 4 composições que apresentaram uma redução de custo de 17% a 21%, comparadas com a massa padrão. Estas composições e a massa padrão foram queimadas em um forno a rolo laboratorial num ciclo de queima de frio-a-frio de 30 minutos nas temperaturas máximas de 1110 °C, 1120 °C, 1130 °C e 1150 °C. Os resultados das características físicas a seco apontam que todas as composições possuem retração linear, massa específica aparente e resistência mecânica a flexão melhores do que a massa padrão. Após a etapa de queima, as composições F1 e F4 apresentaram os melhores resultados em relação a redução de custo (21% e 20%, respectivamente) e sobre as características técnicas, como massa específica aparente, absorção de água, resistência mecânica, retração linear, flecha de deformação e cor de queima. Com relação a perda ao fogo, todas as composições apresentaram de 1% a 2% acima do valor da massa padrão. Todas as composições apresentaram a formação de coração negro. Apesar destes últimos resultados, a utilização industrial das composições F1 e F4 não está inviabilizada, pois pode-se realizar ajustes no processo para sua utilização. As técnicas utilizadas neste estudo para a otimização da massa cerâmica foram bem-sucedidas e contribuem para o desenvolvimento do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos.

Palavras-chave: otimização, propriedades físicas, qualidade.

1. Introdução

A produção de placas cerâmicas de monoqueima atinge grande parte do mercado consumidor nacional. A Figura 1 evidencia que os produtos de monoqueima representados pela categoria piso, ocupam a maior fatia da produção brasileira de pavimentos e revestimentos cerâmicos, conforme os dados apresentados pela ANFACER (2017). Uma estabilidade ao longo dos primeiros 3 anos é apresentada, atingindo uma produção de 589 milhões de metros quadrados em 2014, mas em 2015 houve uma redução de 3,40% em relação ao ano anterior. Esta redução pode estar relacionada com a inserção de produtos importados a baixo custo, ao aumento do consumo de outros tipos de pavimentos, como o porcelanato e também a questões econômicas do país. O aumento da produção de porcelanato, nos últimos 4 anos, foi de 25% e o seu

valor mais acessível torna-o um concorrente direto a categoria dos pisos.

No Brasil a produção de pavimentos cerâmicos divide-se em dois grandes grupos, mais especificamente na categoria dos pisos, mas atualmente também estendem-se as classes dos porcelanatos. Segundo Boschi (2008), pode-se dizer que o Brasil tem duas indústrias de revestimentos cerâmicos que almejam consumidores diferentes produzindo revestimentos destinados aos consumidores das classes A/B e a segunda, mais econômica se destina às classes C/D.

Em virtude deste cenário, há uma busca constante em obter produtos com menor custo de fabricação visando maior rentabilidade, mas mantendo a qualidade dos produtos fabricados. Dentre os principais custos para a obtenção de um produto, os relativos à massa têm considerável

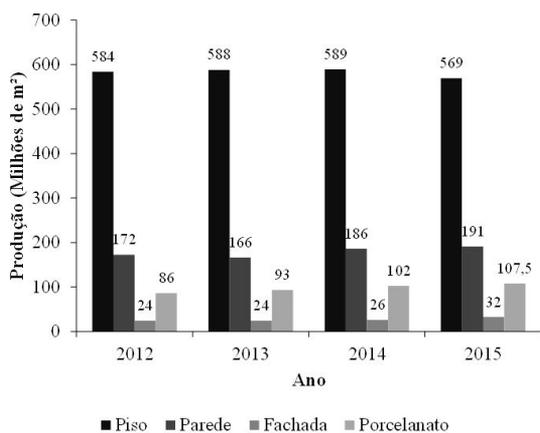


Figura 1. Produção brasileira de revestimentos cerâmicos. Fonte: ANFACER (2017).

participação em seu preço final e quando comparados com energia elétrica, combustível e mão-de-obra, apresentam uma facilidade maior em serem reduzidos.

A reformulação de massa é importante para as indústrias cerâmicas devido à necessidade de redução de custo, aumento de produtividade, desempenho da massa ao longo do processamento e melhoria das propriedades do produto final. A atividade de desenvolvimento de massa busca formular composições que atendam as demandas por meio da mistura de matérias-primas adequadas, processadas sobre determinadas condições industriais (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010).

As formas para elaboração de formulações de massas cerâmicas podem ser divididas basicamente em três métodos distintos. O primeiro método está relacionado com a experiência prática de quem irá elaborar a formulação. Os conhecimentos foram adquiridos no dia-a-dia e por tentativa e erro, sem um conhecimento técnico específico a respeito da matéria-prima e do processo, chamado de método empírico. Este tipo de técnica torna o processo de elaboração de formulações de massa dispendioso. O segundo método está relacionado com o conhecimento prévio das características técnicas das matérias-primas e do processo aliado ao conhecimento técnico de quem irá elaborar as formulações de massa. Esta sinergia torna o processo mais rápido e com menor custo de processamento. Segundo Dondi (2006) e Santos *et al.* (2017), o conhecimento das propriedades tecnológicas das matérias-primas é essencial para prever tanto o comportamento durante o processamento como o desempenho dos produtos obtidos. O terceiro método está relacionado ao uso de modelos matemáticos, ferramentas estatísticas e o conhecimento das características técnicas das matérias-primas. Este método consiste em planejar e executar um experimento de processamento de misturas e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais através de técnicas estatísticas (SILVA *et al.*, 2009, ALBUQUERQUE *et al.*, 2010, SILVEIRA e LEITE, 2010). Segundo Schwartz e Cislaguei (2009), a modelagem experimental por delineamento de misturas aumenta

enormemente a possibilidade de desenvolvimento de composições inovadoras porque aponta em direções não pensadas pela experiência.

Outra alternativa para otimização de massas cerâmicas é a utilização do método da aditividade, ou seja, utilizar da ponderação dos resultados de componentes individuais para encontrar os valores de uma composição. Trata-se de um modelo simples e de fácil entendimento, mas não leva em consideração a interação entre as matérias-primas. Mesmo assim, pode auxiliar na elaboração de composições otimizadas (DAL BÓ, MELCHIADES e BOSCHI, 2011).

Além da redução de custos das formulações, a qualidade do produto final também deve ser levada em consideração, pois de nada adianta obter uma formulação de massa com um menor custo, se as características técnicas do produto final não estiverem de acordo com as normas técnicas. Como exemplo, as normas NBR 13817 (ABNT, 1997) e ISO 13006 (ISO, 1998) classificam os produtos de monoqueima fabricados por prensagem (BIIa) com absorção de água entre 3% e 6%. Além disso, a norma ISO 13006 (ISO, 1998) juntamente com a norma NBR 13818 (ABNT, 1997), determina que os produtos de monoqueima (BIIa) devem possuir resistência mecânica a flexão igual ou superior a 22 MPa e carga de ruptura maior que 1000 N, para produtos com espessura maior que 7,5 mm. Estas são algumas especificações que devem ser atendidas para a produção de pavimentos cerâmicos, pisos, por exemplo.

Portanto, este estudo tem como objetivo geral desenvolver massas para um produto de monoqueima (BIIa) produzido por via úmida, que possua um custo inferior à massa padrão, mantendo ou melhorando as propriedades técnicas especificadas pelas normas NBR 13817 (ABNT, 1997), NBR 13818 (ABNT, 1997) e ISO 13006 (ISO, 1998).

2. Material e Método

A técnica utilizada para o desenvolvimento deste estudo é aquela relacionada com o conhecimento prévio das características técnicas das matérias-primas, do processo produtivo e do conhecimento técnico dos envolvidos neste estudo. A otimização da massa de um produto de monoqueima (BIIa) deu-se através da seleção, da caracterização física, da análise crítica das matérias-primas, seguida da elaboração das novas composições e finalmente, comparando-as a uma massa industrial.

As matérias-primas selecionadas foram um anortozito, duas argilas, quatro argilitos e um talco. Estas foram moídas a úmido em moinho gira-rápido, com 36% de água e 1% de defloculante. O resíduo de moagem estabelecido foi de 4,25% na malha 230 *mesh* (63 μ m), condições estas utilizadas industrialmente. As barbotinas foram secas em estufa laboratorial da marca Fanen modelo 315 SE (110 $^{\circ}$ C \pm 10 $^{\circ}$ C), desagregadas, peneiradas na malha de 32 *mesh* (500 μ m) e umidificadas com 7% de água. As massas das matérias-primas ficaram em descanso por 24 horas e em seguida foram conformadas em uma prensa hidráulica laboratorial, com cavidade de

80 mm × 20 mm, com pressão específica de desaeração de 5 MPa e de compactação de 25 MPa. O carregamento de massa na cavidade foi de 25 g, medida em uma balança digital de resolução de 0,01 g, e foram confeccionados 10 corpos-de-prova para cada matéria-prima.

Os corpos-de-prova foram secos em estufa laboratorial da marca Fanen modelo 315 SE (110 °C ± 10 °C) até peso constante. Nesta etapa do processo foram determinadas a massa específica aparente (MEAPs), a resistência mecânica à flexão (MRFs) e a retração linear (RLs) dos corpos-de-prova de cada matéria-prima. A massa específica aparente de cada corpo-de-prova foi determinada utilizando o princípio de Arquimedes com água no Laboratório de Cerâmica do Instituto Maximiliano Gaidzinski. A resistência mecânica à flexão foi determinada pelo método de três pontos utilizando um crômetro da marca Gabbrielli no Laboratório de Produto Acabado de uma empresa da região. A retração linear dos corpos-de-prova foi determinada através da medida do comprimento, da largura e da espessura dos corpos-de-prova antes e após o processo de secagem utilizando um paquímetro digital da marca Mitutoyo de resolução de 0,01 mm.

A queima dos corpos-de-prova das matérias-primas foi realizada em um forno a rolo laboratorial da Sere SRL e modelo ERL 12. A temperatura utilizada neste trabalho para as queimas dos corpos de provas das matérias-primas foi de 1150°C, com tempo total de queima de frio-a-frio de 30 minutos.

Após a queima, os corpos-de-prova foram pesados em uma balança digital da marca Marte de resolução de 0,01 g e medido o comprimento, a largura e a espessura com um paquímetro digital da marca Mitutoyo com resolução de 0,01 mm. Estas informações foram utilizadas para determinar a retração linear (RLq) e a perda ao fogo (PF) de cada matéria-prima. A massa específica aparente (MEAPq) foi determinada através do princípio de Arquimedes com água. A resistência mecânica à flexão (MRFq) foi determinada através do método de três pontos utilizando um crômetro da marca Gabbrielli. A absorção de água (AA) foi determinada pelo método da fervura em água por 2 horas.

O resultado da caracterização física e o preço de cada matéria-prima serviram de orientação para reformular a massa cerâmica do material em estudo. As composições foram elaboradas (Tabela 1) com o foco na redução de custos e na obtenção de propriedades técnicas iguais ou superiores à massa padrão, através da utilização racional de matérias-primas que forneçam tais características.

A matéria-prima com o maior custo por tonelada é a Argila 2, sendo descartada para a elaboração das composições otimizadas. Outra matéria-prima com custo elevado é o Argilito 1, pois quando foi inserido na composição, a redução percentual do custo foi menor, se comparada as composições que não utilizaram esta matéria-prima. Mas isto não inviabiliza a sua utilização. As matérias-primas que apresentam menor custo por tonelada são a Argila 1, o Argilito 3, o Argilito 4 e o Caulim, logo estas foram inseridas em maior percentual na composição. Devido ao seu custo, mas com a necessidade

de inseri-los nas composições devido a sua importância, o percentual de Anortozito e de Talco não foram alterados de maneira significativa nas formulações.

As composições foram moídas, secas, desagregadas, umidificadas, compactadas e secas nas mesmas condições utilizadas para caracterizar as matérias-primas individuais utilizando os mesmos materiais e equipamentos necessários para esta preparação. Os ensaios realizados com os corpos-de-prova secos foram à retração linear (RLs), resistência mecânica à flexão (MRFs) e a massa específica aparente (MEAPs).

Os corpos-de-prova obtidos foram levados à queima em forno a rolo laboratorial da Sere SRL e modelo ERL 12, em um ciclo de queima de 30 minutos de frio-a-frio, em temperaturas máximas de 1110 °C, 1120 °C, 1130 °C e 1150 °C. Os mesmos foram submetidos à pesagem em uma balança digital da marca Marte com resolução de 0,01 g e foram medidos o comprimento, a largura e a espessura com um paquímetro digital da marca Mitutoyo com resolução de 0,01 mm, sendo que estas informações foram utilizadas para determinar a retração linear (RLq), a perda ao fogo (PF) e a cor de queima. A resistência mecânica à flexão (MRFq) foi realizada em um crômetro da marca Gabbrielli através do método dos três pontos e a absorção de água (AA) foi determinada pelo método da fervura por 2 horas.

A presença de coração negro nas composições também foi determinada. O método utilizado foi de compactar uma massa de 50 g de cada composição utilizando uma pressão específica de desaeração de 5 MPa e compactação de 35 MPa. Os corpos-de-prova foram devidamente secos e foram queimados num forno a rolo laboratorial da Sere SRL e modelo ERL 12, em um ciclo de queima de 30 minutos de frio-a-frio a uma temperatura máxima de 1150 °C. Após a queima, os mesmos foram fraturados e uma comparação visual foi realizada entre as composições verificando a existência de coração negro.

A deformação pirolástica foi avaliada através da flecha de deformação (S) das amostras. Os corpos-de-prova secos foram apoiados em suporte refratários e o conjunto sobre uma placa refratária, conforme ilustrado

Tabela 1. Composições das massas que compõem o experimento.

Matérias-primas	Formulações				
	Padrão	F1	F2	F3	F4
Anortozito	6	6	5	6	4
Argila 1	23	30	27	30	25
Argila 2	20	-	-	-	-
Argilito 1	26	-	15	18	-
Argilito 2	16	18	-	-	15
Argilito 3	-	18	18	18	23
Argilito 4	-	15	18	15	17
Caulim	5	10	13	10	13
Talco	4	3	4	3	3
Composto Monoqueima	9	-	-	-	-
Redução de Custo (%)	-	21	17	19	20

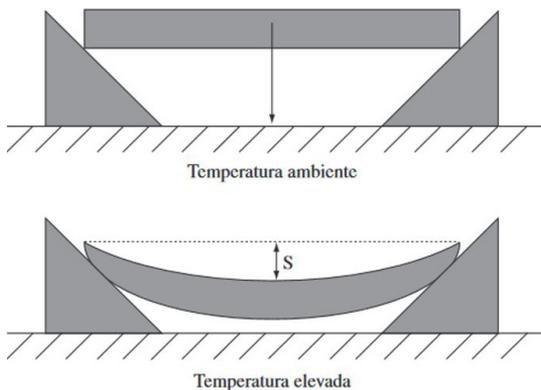


Figura 2. Representação da medida laboratorial da flecha de deformação. Adaptado de Milak *et al.* (2007).

pela Figura 2 e inseridos num forno a rolo laboratorial da Sere SRL e modelo ERL 12, em um ciclo de queima de 30 minutos de frio-a-frio a uma temperatura máxima de 1150 °C. A flecha de deformação foi medida com a utilização de um paquímetro digital da marca Mitutoyo com resolução de 0,01 mm.

3. Resultados e Discussões

3.1. Caracterização das matérias-primas

A caracterização individual a seco das matérias-primas apresentam importantes informações para a otimização da massa cerâmica, conforme a Tabela 2. A Argila 2 e Argilito 3 possuem as maiores resistências mecânicas a seco (MRFs) iguais a 6 e 9 MPa, respectivamente, indicando uma boa plasticidade (GOES *et al.*, 2014). Esta característica é importante ao processo produtivo após a etapa de conformação, pois o revestimento cerâmico deve resistir aos esforços do processo de esmaltação e decoração. O caulim não apresentou retração linear a seco (RLs), o que permite a composição que o contém, uma estabilidade dimensional durante o processo produtivo, permitindo a utilização de matérias-primas mais fundentes, como os Argilitos 2 e 3.

As características técnicas das matérias-primas obtidas após o processo de queima estão apresentadas na Tabela 3. Os resultados evidenciam que os Argilitos 2 e 3 são muito fundentes devidos aos valores de absorção de água (AA) estarem abaixo de 1% e a retração linear (RLq) apresentaram valores elevados de 6,62% e 10,63%, respectivamente. A resistência mecânica a flexão (RMFq) também apresentou valores bem elevados, o que auxilia na resistência mecânica final da composição que os contém. A Argila 1 apresentou um valor de absorção de água igual a 11,78% demonstrando ser uma matéria-prima mais refratária, o que permite combina-la com fundentes, a fim de corrigir o “ponto de fusão” da composição. Um ponto importante a ser observado nesta matéria-prima é uma considerável presença de quartzo na sua composição, já que o valor da perda ao fogo (PF) de 4,10% pode ser considerado baixo para dizer que se trata de uma argila caulínica. Duas matérias-primas que devem ser

Tabela 2. Resultados da caracterização física a seco das matérias-primas.

Matérias-primas	MEAPs (g/cm ³)	MRFs (MPa)	RLs (%)
Anortozito	1,73	1	0,05
Argila 1	1,82	2	0,21
Argila 2	1,92	6	0,39
Argilito 1	1,86	4	0,30
Argilito 2	1,83	3	0,25
Argilito 3	1,85	9	0,59
Argilito 4	1,88	3	0,23
Caulim	1,79	3	0,00
Talco	1,82	2	0,00
Composto Monoqueima	1,77	2	0,09

Tabela 3. Resultados da caracterização física das matérias-primas depois do processo de queima.

Matérias-primas	AA (%)	RMFq (MPa)	MEAPq (g/cm ³)	RLq (%)	PF (%)
Anortozito	18,66	21	1,76	1,86	4,1
Argila 1	11,78	14	1,96	4,33	4,46
Argila 2	3,13	49	2,32	7,95	4,59
Argilito 1	2,46	47	2,32	8,47	3,49
Argilito 2	0,95	48	2,15	6,62	3,11
Argilito 3	0,00	46	2,49	10,63	5,36
Argilito 4	4,52	43	2,28	1,04	4,72
Caulim	15,65	18	1,91	6,46	12,58
Talco	15,25	34	1,94	2,98	4,88
Composto Monoqueima	4,53	69	2,38	9,97	3,75

consideradas são o Anortozito ((Ca,Na)Al(Al,Si)Si₂O₈) e o Talco (3MgO.4SiO₂.H₂O), pois possui em sua composição a presença de óxido de elementos alcalinos terrosos, como cálcio e magnésio, respectivamente. Estes elementos combinados aos elementos alcalinos, como potássio e sódio, presentes nos argilitos podem formar eutéticos com pontos de fusão mais baixos, acelerando a sinterização da composição (VIEIRA, SOARES e MONTEIRO, 2008).

3.2. Formulação das massas cerâmicas

Na Figura 3 encontram-se os resultados da massa específica aparente a seco (MEAPs) e a retração linear a seco (RLs) das composições otimizadas sendo comparadas com os resultados apresentados pela composição padrão. Todas as composições otimizadas podem ser destacadas em comparação a massa padrão, pois em média, estas composições apresentaram valores de massa específica aparente com 0,05 g/cm³ acima da massa padrão. Este ganho na massa específica aparente deve-se a um melhor empacotamento das partículas durante a conformação dos corpos-de-prova (VIEIRA, SOARES e MONTEIRO, 2008). Um inconveniente que este aumento na massa específica aparente pode trazer ao produto é a redução na capacidade de desgaseificação durante o processo de

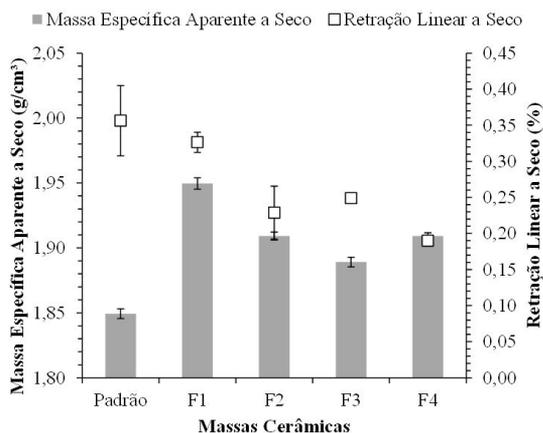


Figura 3. Massa específica aparente e retração linear a seco das composições otimizadas.

queima, podendo ocasionar o aparecimento de bolhas e deformações na massa. Para a retração linear podem se destacar as composições F2, F3 e F4 onde apresentaram valores entre 0,20 a 0,25%, ficando 0,10% menor do que a massa padrão. Estas características demonstram que as composições otimizadas tendem a ter uma maior estabilidade dimensional durante todo o processo produtivo.

As composições também foram avaliadas segundo a resistência mecânica a flexão a seco (MRFs), conforme apresentado na Figura 4. Todas as composições podem ser destacadas, pois apresentaram valores de resistência acima do encontrado para a massa padrão. Esta propriedade está relacionada diretamente com a massa específica aparente, pois a composição F1 apresentou valores de massa específica aparente média de 1,95 g/cm³, logo este resultado refletiu diretamente no valor médio de 7,2 MPa para a resistência mecânica a flexão. A composição F4 também destaca-se nesta característica, obtendo um valor médio de 1,7 MPa acima da massa padrão. Este aumento na resistência mecânica a flexão a seco contribui para uma redução na probabilidade da placa cerâmica quebrar durante o transporte realizado na linha de produção e aos esforços do processo de decoração e queima.

As composições otimizadas e a massa padrão foram submetidas ao processo de queima. Através do diagrama de gresificação dado pela Figura 5 é possível evidenciar que as composições F1 e F4 na temperatura de 1150 °C apresentaram valores de absorção de água dentro da faixa estabelecida pela norma NBR 13818 (3 a 6%), mas esta faixa é alcançada ainda na temperatura de 1130 °C. A composição F4 alcançou, dentro desta faixa de temperatura, uma maior estabilidade dimensional, ou seja, houve uma menor variação da retração linear de queima. A massa padrão apresentou a absorção de água acima da faixa da norma e também uma menor estabilidade dimensional. Segundo Sánchez-Muñoz *et al.* (2008), esta característica é importante aos revestimentos cerâmicos, pois para pequenas variações de temperatura, as dimensões das placas cerâmicas permanecem constantes ou com a menor variação possível. As composições F2 e F3 acompanharam o mesmo comportamento apresentado pela massa padrão.

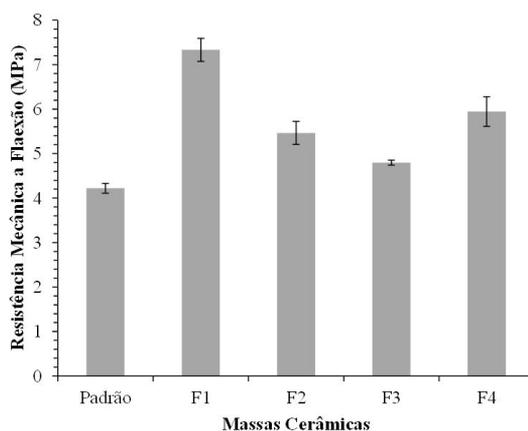


Figura 4. Resistência mecânica a flexão a seco das composições otimizadas.

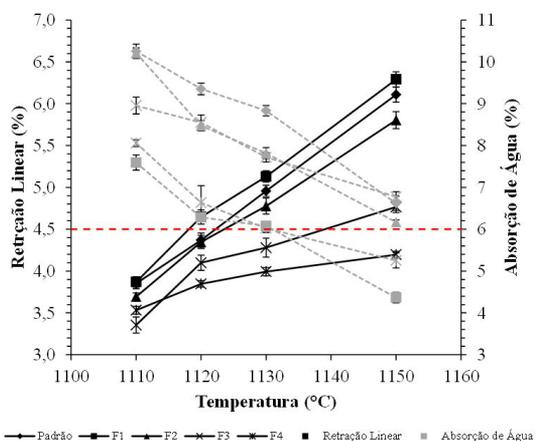


Figura 5. Diagrama de gresificação das composições otimizadas e da massa padrão.

Uma possível causa desta estabilidade dimensional está associada com uma maior presença de Caulim na estrutura das composições, pois esta matéria-prima é uma das responsáveis por formar o “esqueleto” da massa cerâmica, visto que a massa padrão possui menor percentual (DE NONI *Jr et al.*, 2010, SÁNCHEZ-MUÑOZ *et al.*, 2008).

A massa específica aparente (MEAPq) e a resistência mecânica a flexão (MRFq) foram determinadas, conforme as Figuras 6 e 7. Na Figura 6, as composições F1 e F4 apresentaram os maiores valores para a massa específica aparente, comportamento maior do que a massa padrão, pois tem-se um aumento médio de 0,12 g/cm³ em relação a composição F1 e de 0,07 g/cm³ em relação a composição F4. Estes valores são maximizados pelo maior grau de compactação obtido durante o processo de prensagem e pela presença de uma maior quantidade de matérias-primas fundentes. Com o aumento da temperatura, ocorre a formação de fase líquida que preenche os espaços entre as partículas proporcionando este aumento na massa específica aparente das composições (SÁNCHEZ-MUÑOZ *et al.*, 2008). A resistência mecânica a flexão é um reflexo da massa específica aparente, conforme visto na Figura 7,

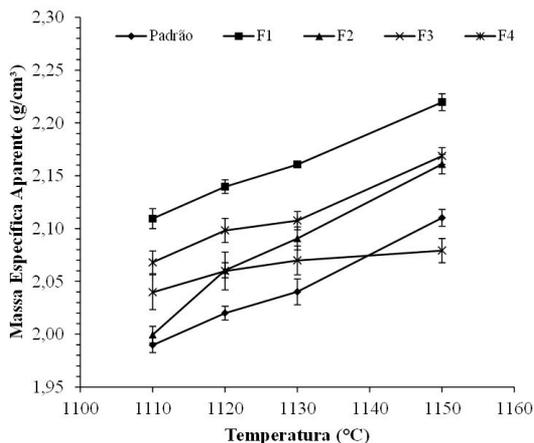


Figura 6. Massa específica aparente das composições otimizadas e da massa padrão em função da temperatura.

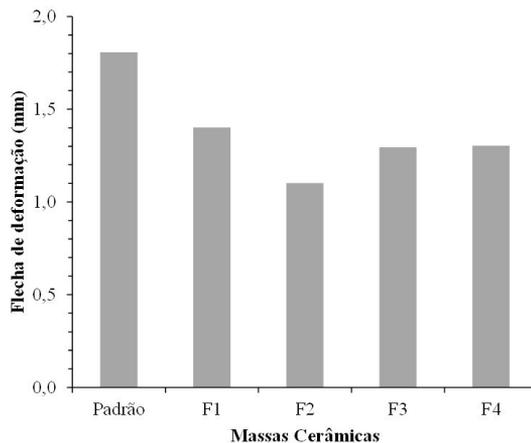


Figura 8. Flecha de deformação das composições otimizadas e da massa padrão em função da temperatura.

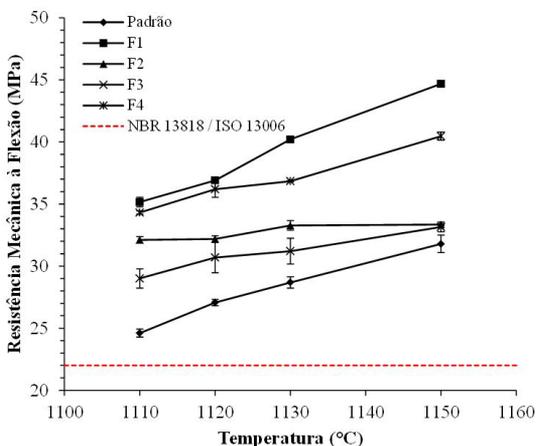


Figura 7. Resistência mecânica à flexão das composições otimizadas e da massa padrão em função da temperatura.

as composições F1 e F4 apresentaram um aumento médio de 11 MPa e 9 MPa, respectivamente, em relação a massa padrão. Comparando-as com o valor da norma NBR 13818 (22 MPa) para o grupo de absorção de água BIIa, as composições F1 e F4 apresentaram um aumento médio de 17 MPa e 15 MPa, respectivamente, enquanto a massa padrão apresentou um aumento de até 10 MPa.

A estabilidade dimensional das composições otimizadas pode ainda ser evidenciada através da determinação da flecha de deformação. Uma preocupação na utilização de uma matéria-prima muito fundente são os efeitos da deformação pirolástica, mas isto pode ser evitado se a composição contém minerais capazes de formar uma rede ou “esqueleto”, minimizando a deformação da massa cerâmica sob a ação do calor (DE NONI Jr *et al.*, 2010, SÁNCHEZ-MUÑOZ *et al.*, 2008). A Figura 8 apresenta os resultados da flecha de deformação das composições otimizadas comparadas com a massa padrão. Estes valores foram obtidos na temperatura de 1150 °C. Nota-se que as composições F1 e F4 apresentaram uma flecha de deformação igual a 1,4 mm e 1,3 mm, respectivamente,

enquanto a massa padrão apresentou um valor igual a 1,8 mm. A condição ideal para uma comparação seria se todas as amostras apresentassem a mesma absorção de água, mas isso acabaria aumentando mais a diferença na flecha de deformação entre a massa padrão e as demais composições otimizadas. As composições F2 e F3 também apresentaram flecha de deformação menor do que a massa padrão, mas na temperatura de 1150 °C as absorções de água estão acima de 6% e seus valores aumentariam se analisadas com absorções de água iguais. Segundo Milak *et al.* (2007), o caulim como fonte incorporadora de caulinita reduz a deformação pirolástica das massas cerâmicas, confirmando os resultados obtidos para a flecha de deformação.

A perda ao fogo das composições otimizadas e da massa padrão também deve ser avaliada. Durante o processo de aquecimento das placas cerâmicas ocorre uma série de decomposições, como a desidratação, combustão da matéria orgânica, desidroxilação e decomposição de impureza como carbonatos. Estas decomposições liberam gases e estes se liberados durante a fusão da camada de esmalte pode causar o surgimento de defeitos superficiais como bolhas e furos. Estes gases, se não liberados, podem reagir com o material sólido e formar o que é conhecido como “coração negro”, podendo ainda causar grandes deformações na massa cerâmica como o surgimento de bolhas (DAMIANI *et al.*, 2001). Na Figura 9, a massa padrão apresentou um valor médio de 4,18% de perda ao fogo, enquanto a composição F1 e F4 apresentaram valores médios de 5,19% e 6,00%, respectivamente, para a temperatura de 1150 °C.

Estes valores de perda ao fogo podem estar relacionados com uma maior presença de matéria orgânica, por exemplo. Assim, foi determinada a presença de “coração negro”, conforme apresentado pela Figura 10, na temperatura de 1150 °C. Nota-se que a massa padrão não apresentou nenhum tipo de mancha no interior do corpo-de-prova, enquanto todas as composições otimizadas apresentaram uma mancha escura no interior das amostras. As composições F1 e F4

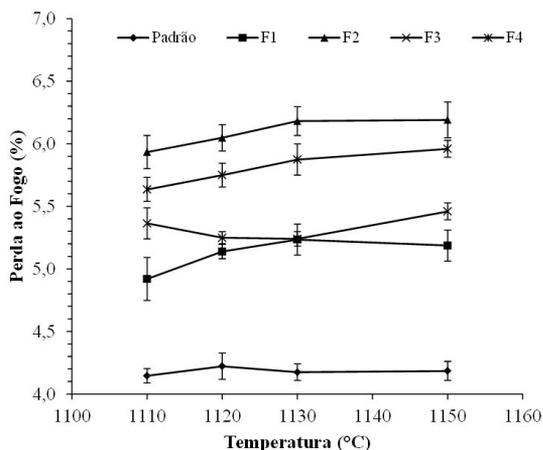


Figura 9. Perda ao fogo das composições otimizadas e da massa padrão em função da temperatura.

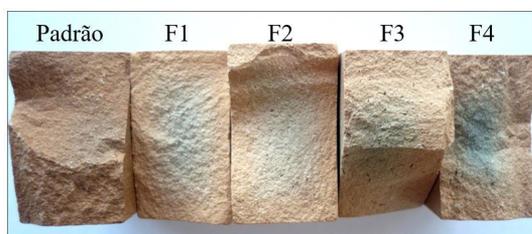


Figura 10. Coração negro das composições otimizadas e da massa padrão na temperatura de 1150 °C.

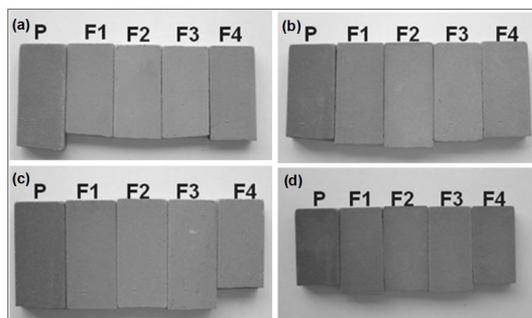


Figura 11. Cor de queima das composições otimizadas e da massa padrão nas temperaturas de (a) 1110 °C, (b) 1120 °C, (c) 1130 °C e (d) 1150 °C.

apresentaram as maiores evidências de “coração negro”, justificando os valores elevados da perda ao fogo.

A cor de queima de revestimentos cerâmicos também é um fator importante, pois pode influenciar na camada de decoração necessária para encobrir a cor do suporte. Na Figura 11 nota-se que a massa padrão apresenta uma coloração mais escura se comparada com as composições otimizadas. À medida que aumenta a temperatura, a cor de queima das composições é cada vez mais evidenciada, mas a coloração da composição F4 apresenta uma coloração mais próxima da massa padrão na temperatura de 1150 °C. Todas as composições apresentaram cor de

queima que variaram do bege escuro ao marrom claro. Esta coloração está relacionada com a presença de óxidos de ferro, titânio e manganês nas matérias-primas que foram utilizadas neste estudo (ROVERI, ZANARDO e MORENO, 2007; MELO *et al.*, 2002).

De maneira geral, as composições F1 e F4 apresentaram um destaque interessante neste estudo, pois as características técnicas foram iguais ou superiores a massa padrão. A existência de coração negro nestas composições, não inviabiliza sua utilização industrial, pois pode-se ajustar o processo para adequar-se a este tipo de formulação.

4. Conclusão

A otimização de massas cerâmicas através do conhecimento das características físicas de cada matéria-prima, do conhecimento da interação entre as mesmas e do conhecimento técnico do processo permite alcançar resultados extremamente satisfatórios relacionados à qualidade do produto e na melhoria do processo produtivo. As análises dos resultados permitiram obter reduções do custo da composição cerâmica, melhorias no processo produtivo tais como uma possível redução na força de prensagem, redução no ciclo de queima, diminuição na quebra de produtos durante o processo produtivo, possibilidade de redução das camadas de decoração e um aumento na estabilidade dimensional das placas cerâmicas. A qualidade das composições cerâmicas otimizadas, de uma maneira geral, foram superiores a massa padrão, que já apresentava ótimas características técnicas.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13817: placas cerâmicas para revestimento – Classificação. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818: placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.
- ISO. ISO 13006: **Ceramic Tiles. The International Standards**. Ed. Int. CERLabs. 1998.
- Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento. **Produção Brasileira de Revestimentos Cerâmicos**. Disponível em: <www.anfacer.org.br>. Acessado em: 05 de maio de 2017.
- BOSCHI, Anselmo O. **Panorama Atual da Indústria Brasileira de Revestimentos Cerâmicos**. Cerâmica Industrial, Maio/Junho, 2008, p. 13.
- SCHWARTZ, Nilson; CISLAGUI, Henrique. **Modelagem Experimental Por Delineamento de Misturas: Aplicada no Desenvolvimento de Massa de Porcelanato Esmaltado**. Tijucas: 2009, p.1-10.
- DONDI, Michele. **Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados**. Cerâmica Industrial, Maio/Junho, 2006, p.11.
- SILVA, H. C.; SOUZA, F. A. C.; SILVA, N. S.; HOTZA, D. **Otimização de fórmulas de massas cerâmicas de Faiança**. Cerâmica Industrial, v. 14, n. 1, p. 27-32, 2009.
- DAL BÓ, M.; MELCHIADES, F.; BOSCHI, A. O. **Utilização do método de aditividade para formulações cerâmicas:**

- aplicações e restrições.** *Cerâmica Industrial*, v. 16, n. 2, p. 24-28, 2011.
10. MILAK, A. V.; RODRIGUES, E. P.; RICARDO, E. T.; TERTULIANO, L. A.; JACINTO, R. P.; GASTALDON, R. S.; TASSI, R.; CARGNIN, M.; MODESTO, C. O.; DE NONI Jr, A. Estudo da deformação piropoplástica em suportes cerâmicos obtidos com diferentes conteúdos de caulim e quartzo. *Cerâmica Industrial*, v. 12, n. 6, p. 17-21, 2007.
 11. SANTOS, R. C.; SILVA, T. R.; NEVES, G. A.; MACEDO, R. S.; MENEZES, R. R.; SANTANA, L. N. L. Interação entre características de argilas e parâmetros de processamento sobre propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos. *Cerâmica*, v. 63, n. , p.361-368, 2017.
 12. DE NONI Jr, A.; HOTZA, D.; SOLER, V. C.; VILCHES, E. S. Influence of composition on mechanical behaviour of porcelain tile. Part I: Microstructural characterization and developed phases after firing. *Materials Science and Engineering A*, v. 527, p. 1730-1735, 2010.
 13. SÁNCHEZ-MUÑOZ, L.; CAVA, S. S.; PASKOCIMAS, C. A.; CERISUELO, E.; LONGO, E.; CARDA, J.B. Modelamento do processo de gresificação de massas cerâmicas de revestimento. *Cerâmica*, v. 48, n. 308, p. 217-222, 2002.
 14. GOES, J.R.; AZEVEDO, T.F.; DUTRA, T.X.C.; SANTOS, V.B.; SEVERO JUNIOR, J.B.; BARRETO, L.S. Avaliação da potencialidade de argilas da formação geológica Calumbi e Riachuelo em Sergipe para aplicação em revestimento cerâmico. *Cerâmica*, v. 60, p. 211-217, 2014.
 15. VIEIRA, C. M. F.; SOARES, J. B.; MONTEIRO, S. N. Desenvolvimento de massas de revestimento cerâmico com argila caulinitica e nefelina sienito. *Cerâmica*, v. 54, p.184-192, 2008.
 16. ALBUQUERQUE, F.R.; SANTOS, I.M.G.; LIMA, S.J.G.; CÁSSIA-SANTOS, M.R.; SOLEDADE, L.E.B.; SOUZA, A.G.; MARTINELLI, A.E. Planejamento experimental aplicado à otimização de massas cerâmicas contendo matérias-primas naturais. *Cerâmica*, v. 53, p. 300-308, 2007.
 17. SILVEIRA, J.; LEITE, J.P. Technique for optimization of ceramic bodies using mixture design. *Cerâmica*, v. 56, p. 347-354, 2010.
 18. ROVERI, C. D.; ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T. Variação da cor e propriedades cerâmicas com o aumento da temperatura de queima de uma argila proveniente da formação Corumbataí, região de Piracicaba, SP. *Cerâmica*, v. 53, p. 436-441, 2007.
 19. MELO, M. A. F.; NETO, S. G.; MELO, D. M. A.; CARVALHO, L. P.; GALDINO, J. N.; SILVA, S. A. G. Cor e propriedades mecânicas de algumas argilas do Rio Grande do Norte para uso em cerâmica branca. *Cerâmica*, v. 48, n. 308, p. 183-186, 2002.
 20. DAMIANI, J. C.; PEREZ, F.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. coração negro em revestimentos cerâmicos: principais causas e possíveis soluções. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 2, p. 12-16, 2001.