

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E SISTEMAS MOFORLÓGICOS DE ENGOBES CERÂMICOS DESENVOLVIDOS COM REJEITO DE MÁRMORE

Elione Moura Carlos, elionemoura@hotmail.com¹

Raimison Bezerra de Assis, raimisondeassis@hotmail.com²

Renata Ferreira de Sousa, renataf.sousa204@gmail.com¹

Isabel Cavalcanti Cabral, isabel.cavalcanti.cabral@gmail.com¹

José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br¹

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Av. Sen. Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, CEP 59.072-970 Natal, RN,

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA/CAMPUS JACOBINA, Avenida Centenário, 500 - Bairro Nazaré - Jacobina – BA, CEP:44.700 – 000,

Resumo: Normalmente o engobe é aplicado na peça antes do vidrado, formando uma subcamada que vai diminuir as diferenças de composições entre os dois corpos (suporte e vidrado) que irá se unir, limitar os riscos de aparecimento de defeitos no vidrado, mascarar a cor do suporte sempre que necessário, impermeabilizar a peça cerâmica a vidrar e permitir a aplicação de camadas de vidrados menos espessas, o que diminui o custo global. Prepararam-se seis formulações variando-se as proporções de matérias-primas, peneiradas na malha 200 mesh, homogeneizadas em moinho de bola. Os corpos de prova foram preparados em prensa uniaxial (25 Mpa) e sinterizados a 1000, 1050 e 1100°C, em atmosfera natural sob patamar de 60 min e taxa de aquecimento de 10°C/min. Para avaliar as propriedades mecânicas, foi realizado o ensaio de resistência à flexão dos corpos cerâmicos. A superfície de fratura foi caracterizada morfológicamente por microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando uma tensão de 15 kV. Pode-se verificar que os corpos de prova da formulação FIV atingiu um satisfatório valor de resistência à flexão, atingindo 27,93 MPa na sinterização a 1100°C, de acordo com a Norma Européia EN 100. Os resultados potencializaram o aproveitamento de resíduos de mármore no desenvolvimento de engobes cerâmicos em particular na indústria cerâmica de revestimentos.

Palavras-chave: Engobe, Resíduo de Mármore, Propriedades, Revestimento

1. INTRODUÇÃO

Normalmente o engobe é aplicado na peça antes do vidrado, formando uma subcamada que vai diminuir as diferenças de composições entre os dois corpos (suporte e vidrado) que irá se unir, limitar os riscos de aparecimento de defeitos no vidrado, disfarçar a cor do suporte sempre que necessário, impermeabilizar a peça cerâmica a vidrar e permitir a aplicação de camadas de vidrados menos espessas, o que diminui o custo global.

Os engobes comercializados tem seu custo de produção pertinente ao gasto necessário para a sua fabricação, que vai desde a extração das matérias primas até a expedição do produto final. Nas indústrias de revestimentos cerâmicos, são utilizados diversos tipos de matérias-primas com custos específicos, sendo estas a base da produção cerâmica, pois constituem os suportes cerâmicos, os vidrados e também os engobes, o que pode deixar o custo de produção de determinados revestimentos muito elevado.

Por outro lado, nas indústrias cerâmicas, há constante preocupação com a qualidade do produto, uma vez que, para diminuir o custo de produção de um revestimento, deve-se ter um planejamento de modo a não prejudicar a qualidade e as características técnicas do produto acabado.

A indústria de mármore e granito do Rio Grande do Norte gera uma quantidade razoável de rejeito, ainda não quantificado no estado, cujo uso em massas cerâmicas pode não só amenizar um grave problema ambiental como também significar uma fonte alternativa de matéria-prima para o setor cerâmico. O estado do Espírito Santo, maior

explorador do setor, estima que a produção de lama abrasiva de mármore e granito das industriais da região esteja em torno de 4000 toneladas por mês (Silva et al., 2005).

Na maioria das indústrias brasileiras a produção de rochas ornamentais é feita a partir da serragem, em chapas de grandes blocos de pedra, em equipamentos chamados teares. Na serragem, cerca de 25 a 30% do bloco são transformados em pó, que é depositado nos pátios das empresas. No Brasil, a quantidade estimada da geração conjunta do resíduo de corte de mármore e granito é de 240000 toneladas/ano, distribuídas entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros estados (MOURA, 2002).

A utilização de resíduo de mármore como matéria-prima para a obtenção de engobes cerâmicos, tem as vantagens de diminuir a quantidade de resíduos a ser descartado na natureza, diminuir defeitos apresentados em peças cerâmicas esmaltadas, melhorar e agregar valor ao produto convencional comercializado no Estado do Rio Grande do Norte, pois com a utilização do engobe diminui-se a espessura da camada de esmalte e, dessa forma, tendo em vista que o engobe é mais barato que os esmaltes de boa qualidade reduzir os custos das peças cerâmicas revestidas.

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo estudar as propriedades mecânicas e os sistemas morfológicos de engobes cerâmicos desenvolvidos com rejeito de mármore.

2. METODOLOGIA

Prepararam-se seis formulações variando-se as proporções de matérias-primas variando-se as proporções das seguintes matérias-primas: argila de queima clara, fosfato, quartzo, caulim, zircônio, feldspato, frita, carboximetilcelulose (CMC) e resíduo de mármore nas massas homogêneas, conforme mostra a “Tab. 1”, peneiradas na malha 200 mesh, homogêneas em moinho de bola. Os corpos de prova foram preparados em prensa uniaxial (25 Mpa) e sinterizados a 1000, 1050 e 1100°C, em atmosfera natural sob patamar de 60 min e taxa de aquecimento de 10°C/min.

Tabela 1 Formulações de massa cerâmica dos engobes.

Matérias primas	FI (%)	FII (%)	FIII (%)	FIV (%)	FV (%)	FVI (%)
Resíduo de mármore	25	20	5	10	15	-
Quartzo	-	-	-	-	-	20
Caulim	25	15	20	5	10	20
Argila	5	8	7	6	9	9
Zircônio	9	10,5	12	13,5	15	15
Tripolifosfato	0,5	0,6	0,2	0,3	0,4	0,45
Feldspato	25	25	25	25	25	25
Frita Branca	10	20	30	40	25	10
CMC	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

A formulação padrão FVI foi fornecida por uma empresa especializada na produção de engobes do estado do Rio Grande do Norte, estando de acordo com estudos da literatura.

Para avaliar as propriedades mecânicas, foi realizado o ensaio de resistência à flexão dos corpos cerâmicos. O ensaio de resistência à flexão tem como objetivo determinar a carga e a tensão máxima para todas as amostras, utilizou-se o método de ensaio flexão de 3 pontos. Para a realização deste ensaio foram feitos para cada amostra cinco corpos-de-prova. Obtendo-se o resultado com a média de cada temperatura das seis formulações.

Cálculo do MRF foi efetuado de acordo com a Eq. (1).

$$\text{MRF(MPa)} = 3(\text{FxL})/2(\text{bxh}^2) \quad (1)$$

Com o propósito de obter informações sobre a morfologia, as amostras sinterizadas nas temperaturas de 1000, 1050 e 1100°C em forno convencional foram submetidas à análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), caracterizado quanto à textura, topografia e o aspecto superficial da região de fratura do material. Sendo o material disposto em porta amostra metálico, com o auxílio de uma fita condutora a base de carbono. A microscopia eletrônica de varredura foi obtida através de um microscópio modelo TM 3000 da Hitachi, utilizando uma tensão de 15 kV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Módulo de Resistência à Flexão (MRF)

A “Tabela 2” apresenta os resultados e seus respectivos desvios padrão dos ensaios resistência à flexão dos corpos de prova sinterizados a 1000°C, 1050°C e 1100°C.

Tabela 2 Resultados dos ensaios físico-mecânicos dos corpos de prova sinterizados a 1000°C.

Ensaio	Form. I	Form. II	Form. III	Form. IV	Form. V	Form. VI
Resistência à Flexão (MPa) 1000°C	5,82 ±0,6	6,51±1,06	7,25 ±0,91	9,00 ±0,94	6,78 ±0,85	2,69±0,27
Resistência à Flexão (MPa) 1050°C	5,35 ±0,42	6,46±0,43	9,15±0,71	15,98±4,06	9,24±1,47	4,02±0,51
Resistência à Flexão (MPa) 1100°C	8,78 ±0,51	10,58 ± 2,71	19,57 ± 2,08	27,93 ±6,19	17,48 ±2,98	8,59 ±0,54

A “Figura 1” apresenta os resultados da resistência à flexão de três pontos das formulações FI, FII, FIII, FIV, FV e FVI sinterizados a 1000, 1050 e 1100°C. Percebe-se em todas as formulações FI, FII, FIII, FIV, FV e FVI um aumento substancial da resistência mecânica à flexão com o aumento da temperatura de sinterização. Notadamente quanto maior a temperatura maior a resistência à flexão.

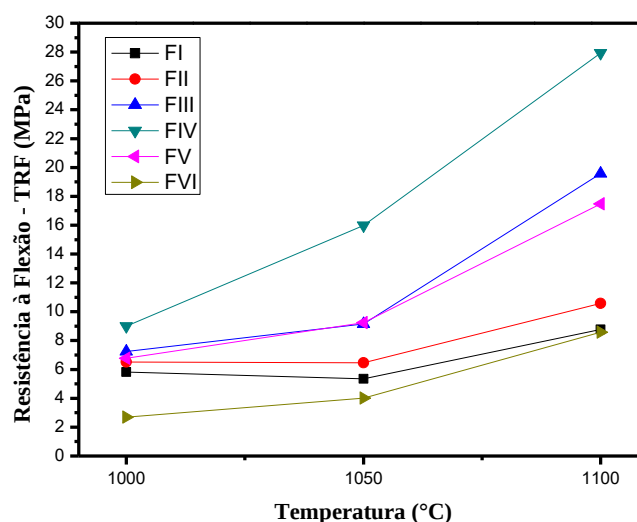


Figura 1. Módulo de Resistência à flexão (MRF) das formulações I, II, III, IV e V sinterizados a 1000, 1050 e 1100°C.

Os corpos-de-prova apresentaram resistência mecânica à flexão de 2,69 a 9,00 MPa “Tab. 2” a 1000°C e os das formulações sinterizadas a 1050°C apresentaram resistência à flexão entre 4,02 e 15,98 MPa “Tab. 2”. Já as formulações sinterizadas a 1100°C apresentaram valores de resistência mecânica à flexão entre 8,59 e 27,93 MPa “Tab. 2”, sendo os corpos de prova da formulação FIV que apresentou os maiores valores do módulo de resistência à flexão em todas as temperaturas.

Um fator importante é que a ABNT não classifica os revestimentos cerâmicos quanto ao módulo resistência à flexão (MRF), apenas cita como realizar o ensaio. Entretanto, a norma Européia UNI EN 100, faz referência ao valor médio que deve apresentar a TRF em MPa > 20, para um revestimento prensado. De acordo com esta informação, percebe-se que corpos de prova da formulação FIV atingiu um satisfatório valor de resistência à flexão, atingindo 27,93 MPa na sinterização a 1100°C.

3.2. Análise Superficial da Região de Fratura

As “Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7” apresentam as micrografias da região de fratura das formulações FI, FII, FIII, FIV, FV e FVI, respectivamente, nas temperaturas de sinterização a) 1000°C, b) 1050°C e c) 1100°C.

Observa-se nas micrografias da formulação FI “Fig. 2” a presença de regiões menos sinterizadas, poucos poros e fundentes nas temperaturas de 1000 e 1050°C. E na temperatura de sinterização de 1100°C apresentou poros e fase vítrea em sua superfície.

Percebe-se na micrografia da formulação FII sinterizada a 1000 e 1050°C “Fig. 3”, região menos sinterizada e grandes poros em relação às demais formulações e apresentou poros fechados na microestrutura do material na região de fratura, bem como fase vítrea na temperatura de sinterização de 1100°C.

As formulações FI e FII apresentaram poros maiores se comparados às demais formulações quando sinterizados a 1100°C, onde para a formulação FI e FII os mais altos valores de porosidade entre as formulações.

Os corpos-de-prova da formulação FIII apresentaram formação de fase vítrea, poros intergranulares, poros fechados na região de fratura quando sinterizados a 1000 e 1100°C e a presença evidente de fundentes na temperatura de 1000 e 1050°C conforme apresentado na “Fig. 4”. Já os corpos-de-prova da formulação FIV apresentaram poros fechados na microestrutura, assim como fase vítrea marcante e fases menos sinterizadas em todas as temperaturas de sinterização “Fig. 5”. Portanto, as formulações III e IV apresentaram baixa retração linear características importantes para engobes cerâmicos e boas propriedades mecânicas como foi mostrado nos ensaios tecnológicos.

As micrografias da formulação FV e FVI, ilustradas nas “Fig. 6” e “Fig. 7”, apresentam partículas aglomeradas, porosas e pouco densas, com alta absorção de água e resistência mecânica relativamente baixa. Os engobes cerâmicos têm a finalidade de ocultar a cor do corpo cerâmico, impedir reações indesejáveis entre o suporte e o esmalte cerâmico, eliminar defeitos superficiais do suporte, contribuir para o ajuste do acordo esmalte-suporte e suavizar o fenômeno mancha d’água. No entanto, as formulações FV e FVI não apresentam as melhores características micro estruturais para produção de engobes cerâmicos.



Figura 2. Micrografia da formulação I sinterizados a a) 1000°C, b) 1050°C e c) 1100°C, com aumento de 3000x.

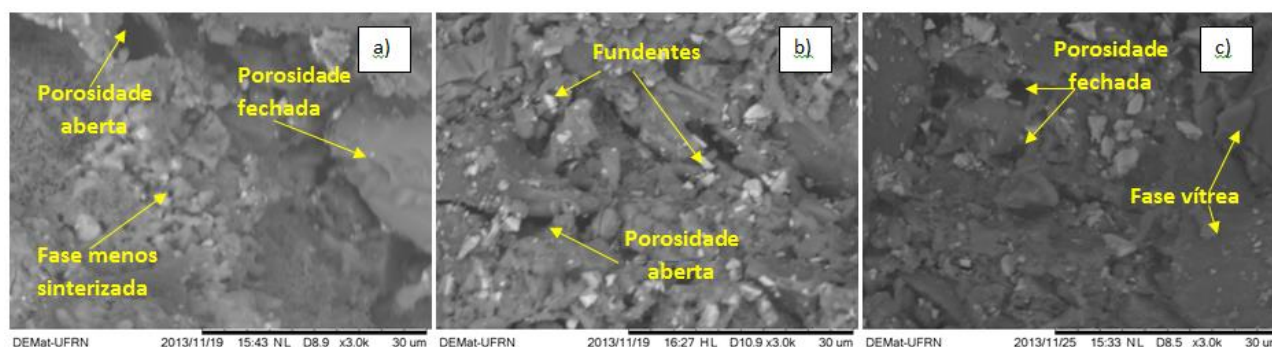


Figura 3. Micrografia da formulação II sinterizados a a) 1000°C, b) 1050°C e c) 1100°C, com aumento de 3000x.

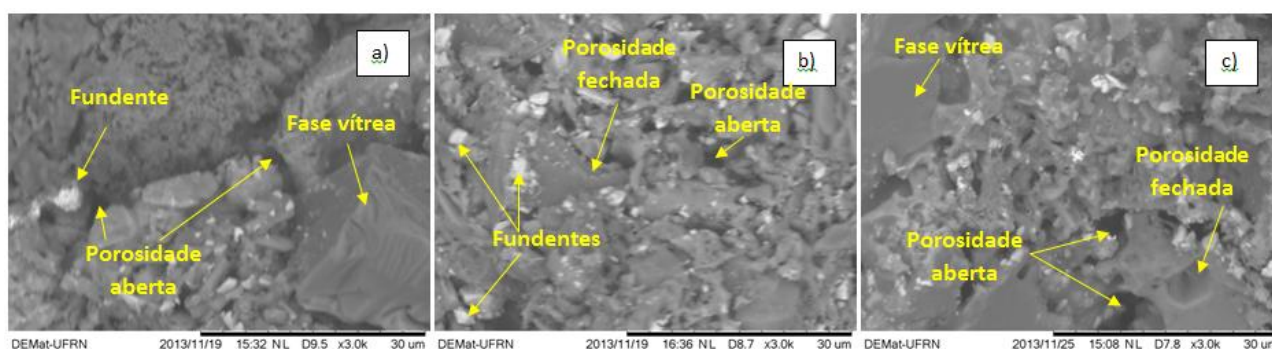


Figura 4. Micrografia da formulação III sinterizados a a) 1000°C, b) 1050°C e c) 1100°C, com aumento de 3000x.

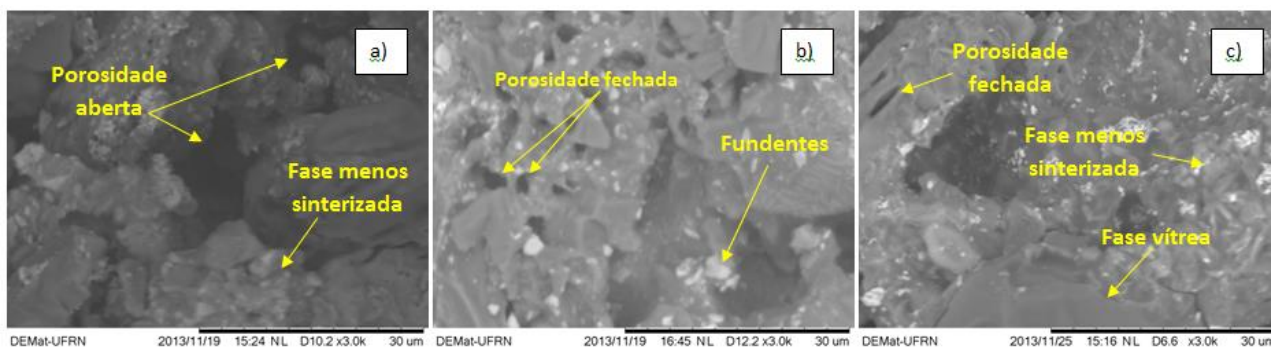


Figura 5. Micrografia da formulação IV sinterizados a a) 1000°C, b) 1050°C e c) 1100°C, com aumento de 3000x.

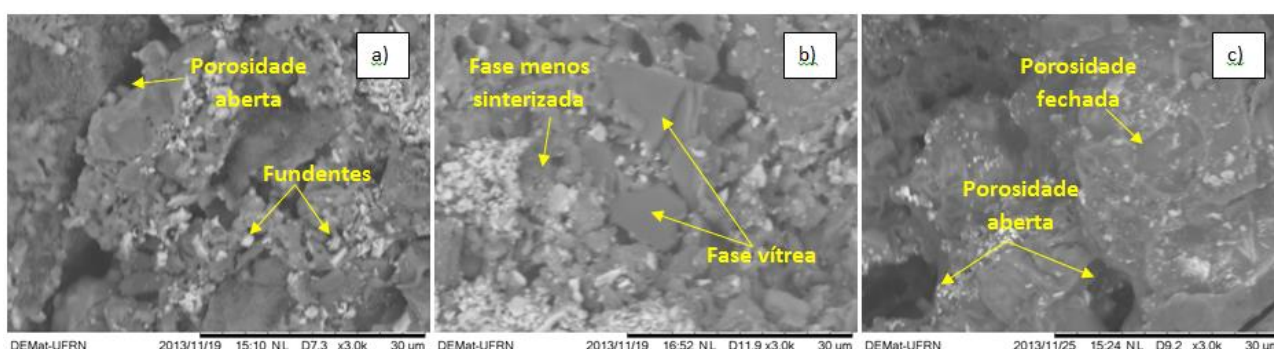


Figura 6. Micrografia da formulação V sinterizados a a) 1000°C, b) 1050°C e c) 1100°C, com aumento de 3000x.

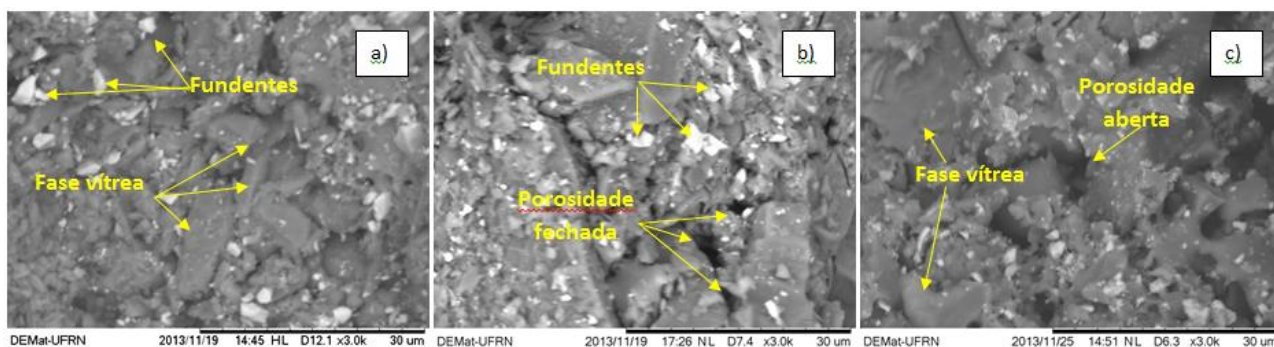


Figura 7. Micrografia da formulação VI sinterizados a a) 1000°C, b) 1050°C e c) 1100°C, com aumento de 3000x.

4. CONCLUSÃO

As formulações I e II apresentaram alta porosidade acompanhada de baixa resistência à flexão em todas as temperaturas. Comparando as formulações FI, FII, FIII, FIV e FV com a FVI (Padrão), conclui-se que a FIV apresentou melhores propriedades mecânicas e microestruturais de acordo com os resultados, sendo viável a substituir a matéria-prima quartzo em até 10% de resíduo de mármore em massa. A resistência à flexão da formulação FIV atingiu valores majoritários em todas as temperaturas, superando a resistência da formulação padrão FVI. Os resultados potencializaram o aproveitamento de resíduos de mármore no desenvolvimento de engobes cerâmicos em particular na indústria cerâmica de revestimentos. Tal fato trará benefícios como a possibilidade de diminuir/ mitigar o impacto ambiental causado pelo descarte indevido do resíduo de mármore, além de contribuir para a diminuição dos custos dos produtos finais e aumentar a variedade de matérias-primas para a indústria cerâmica.

5. REFERÊNCIAS

- SILVA, J. B.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M.; ACCHAR, W., 2005. "Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosa", Cerâmica 51, Natal/RN,
- MOURA, W. A., GONÇALVES, J. P., LEITE, R. S., 2002. "Utilização do Resíduo de Corte de Mármore e Granito em Argamassas de Revestimento e Confecção de Lajotas para Piso" Universidade Estadual de Feira de Santana, n.26, p 49-61.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT - 13.818: informações técnicas: Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT - 13.817/97: Placas cerâmicas para revestimento. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10.006: Solubilização de resíduos. Rio de Janeiro, 2006.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGICAL ENGOBES OF CERAMIC SYSTEMS DEVELOPED WITH MARBLE REJECT

Elione Moura Carlos, elionemoura@hotmail.com¹

Raimison Bezerra de Assis, raimisondeassis@hotmail.com²

Renata Ferreira de Sousa, renataf.sousa204@gmail.com¹

José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br¹

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Av. Sen. Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, CEP 59.072-970 Natal, RN,

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA/CAMPUS JACOBINA, Avenida Centenário, 500 - Bairro Nazaré - Jacobina – BA, CEP:44.700 – 000,

Abstract. Normally the engobe is applied to the part before the glaze forming a sublayer that will lessen the differences in composition between the two bodies (support and glaze) that will join limit the defects of streaks in the glaze, mask support color where necessary, waterproofed ceramic part to glaze and permit the use of thinner layers of glaze, which reduces the overall cost. Six formulations were prepared by varying the proportions of raw materials, the 200 mesh sieve, homogenized in a ball mill. Specimens were prepared in uniaxial press (25 MPa) and sintered at 1000, 1050 and 1100 ° C in natural atmosphere in level 60 min and a heating rate of 10 ° C / min. To evaluate the mechanical properties was performed flexural test of the ceramic bodies. The fracture surface was characterized morphologically by scanning electron microscopy (SEM) using a 15 kV. You can check that IVF formulation of specimens reached a satisfactory level of flexural strength, reaching 27.93 MPa in the sintering at 1100 ° C, according to the European Standard EN 100. The results potentiated the use of marble waste in development of ceramic engobes particularly in ceramic tile industry.

Keywords: Engobe, Marble Waste, properties, coating