

REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO PROVENIENTE DO POLIMENTO DO PORCELANATO NA PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS CERÂMICOS

P.F.Santos¹, C.R Calado.², S.N. Silva¹, I.P Pinheiro¹

pfs_uit@yahoo.com.br (1) Departamento de Materiais e (2) Departamento de Química, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Av. Amazonas 5253, Nova Suíça, 30480-000, Belo Horizonte.

RESUMO

As indústrias de cerâmicas estão realizando inúmeras pesquisas com o objetivo de reduzir e reutilizar os resíduos gerados durante o processo de produção, além de propor uma melhoria na qualidade e na eficiência do processo. Durante o polimento do porcelanato são gerados grandes quantidades de resíduo. Neste trabalho o resíduo de porcelanato foi caracterizado pelas técnicas de análise termogravimétrica, difração de raios X, fluorescência de raios X, retração linear, absorção de água, densidade aparente, porosidade aparente e microscopia óptica. Misturas com diferentes proporções de resíduo e massa atomizada (massa de porcelanato) foram obtidas para avaliar em qual proporção haveria perda da qualidade visual e estrutural do material. Foi observado que até o teor de 2% em peso de resíduo na massa de porcelanato houve pouca alteração estrutural e visual.

Palavras chave: reaproveitamento, porcelanato, resíduos, cerâmica.

INTRODUÇÃO

A indústria cerâmica tem um papel fundamental na economia do País. Segundo dados da Associação Nacional de Fabricantes da Cerâmica, o Brasil é hoje o segundo maior consumidor mundial e o segundo maior produtor⁽¹⁾.

O porcelanato é um revestimento cerâmico, que devido à suas características químicas e físicas tem se tornado uma alternativa a outros produtos, como por exemplo, o granito e outras pedras naturais⁽²⁾. Trata-se de um material cerâmico de fases cristalinas imersas em uma fase vítrea, apresentando uma estrutura compacta⁽³⁾. Na composição química do porcelanato estão presentes o caulim, a argila, o feldspato, o quartzo e o talco⁽³⁾. As matérias-primas cerâmicas utilizadas

para a produção do porcelanato classificam-se basicamente em plásticos (materiais argilosos em geral) e os não plásticos (fundentes, inertes, carbonatos, talcos)⁽³⁾.

O processo de produção do porcelanato é dividido em sete etapas distintas, iniciando-se com a seleção da matéria prima, em seguida a dosagem da matéria prima e a sua moagem, após esta etapa é realizada a atomização. O processo de atomização consiste na pulverização de um líquido viscoso, proveniente de constante agitação das matérias prima do porcelanato com água, dentro da câmara do atomizador⁽³⁾ a altas temperaturas, local onde irá ocorrer a evaporação parcial da água e a moldagem da barbotina na forma esférica, que então passa a ser chamada de pó atomizado. A etapa seguinte consiste na prensagem sobre o molde por uma prensa hidráulica, onde o produto receberá as dimensões do porcelanato final, para em seguida ter a sinterização da peça, e por fim o polimento do porcelanato.

Entre todos os porcelanatos existentes, o polido é o mais produzido, devido ao seu alto valor agregado⁽¹⁾, esse requer uma etapa de polimento que retira os riscos e defeitos e dá brilho a superfície do produto final. O polimento consiste no uso de um equipamento dotado de várias cabeças polidoras de alta rotação compostas de materiais abrasivos em contato com as peças sob velocidade controlada e presença de água⁽⁴⁾. Essa parte do processamento gera grande quantidade de resíduo, que para um descarte adequado é necessário alto investimento. Esse resíduo é constituído essencialmente por uma mistura do material cerâmico oriundo do polimento e do material abrasivo desprendido durante o processo⁽⁵⁾.

Os abrasivos utilizados durante a etapa de polimento são constituídos, principalmente, por carbetos de silício (SiC), óxido de magnésio (MgO), cloreto de magnésio (MgCl₂) e diamante⁽⁶⁾.

O resíduo gerado no polimento do porcelanato tem causado uma grande preocupação social e ambiental. As indústrias de porcelanato estão pesquisando diversas formas de reaproveitar esse resíduo, além de propor uma melhoria na qualidade e na eficiência do seu processo de produção. O resíduo já vem sendo reutilizado na produção de cimento, porém, procuram-se novas reutilizações para o mesmo. O presente trabalho tem o objetivo de caracterizar o resíduo de porcelanato para agregar valores ao mesmo e acabar com os importunos de destino final, podendo reutilizá-lo na própria indústria cerâmica, diminuindo os custos com matéria prima.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foi utilizado o resíduo gerado no processo de polimento do porcelanato, conhecido como torta, e a massa atomizada.

Após a coleta da torta em uma empresa de revestimentos cerâmicos essa foi quarteada manualmente e determinado o teor de umidade da amostra úmida. Após esta etapa, foi realizada a secagem do material e a determinação do teor de umidade da amostra. A metodologia usada para a determinação do teor de umidade no resíduo consistiu em secá-lo em uma estufa a 115 °C durante uma hora e pesá-lo em seguida, este procedimento foi repetido até ser obtida massa constante.

A determinação da composição química do resíduo em termos de seus óxidos constituintes, da massa atomizada e do polidor foi realizada empregando-se a técnica de fluorescência de raios X (Shimadzu, EDX-720) e a determinação das fases presentes na torta e sua estrutura cristalina foi realizada pela técnica de difração de raios X (Shimadzu, XRD - 7000). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Engenharia de Materiais, do CEFET-MG.

A estabilidade térmica e o teor de carbeto de silício contido na torta foram determinados empregando-se a técnica termogravimétrica (TG) (Shimadzu, DTG-60H), na qual também foi possível determinar a temperatura inicial de decomposição do carbeto de silício. Estas medidas foram realizadas no Laboratório TECMAT do CEFET-MG.

Após a caracterização da torta, foi avaliado o teor máximo de resíduo que pode ser adicionado à massa atomizada de porcelanato, preparando-se 7 amostras, identificadas de 1 a 7, com teores mássicos de resíduo de 0; 0,5; 1; 2; 5; 7 e 10% e a amostra 1 foi identificada como “branco” (Tab. 1).

Tab. 1: Teor de resíduo adicionado à massa atomizada.

Amostras	Massa total (g)	Massa de resíduo (g)	Massa de porcelanato (g)	Teor de resíduo (%)
1	12,13	0,06	12,07	0,50
2	12,13	0,12	12,00	1,00
3	12,13	0,24	11,88	2,00
4	12,13	0,61	11,52	5,00
5	12,13	0,85	11,28	7,00
6	12,13	1,21	10,91	10,00
Branco	12,13	0,00	12,13	0,00

Foram produzidos corpos de prova com dimensões de 2,5cm de diâmetro e 1,2cm de espessura, prensados a 54MPa. As pastilhas foram aquecidas a 115°C por 24 horas, em seguida foram levadas a uma mufla previamente aquecida a 400°C por 40 minutos e sinterizadas a 1.200°C por 40 minutos. O resfriamento das amostras foi lento, ocorreu dentro da própria mufla.

Para as amostras sinterizadas foram realizados os seguintes ensaios: densidade aparente (princípio de Arquimedes), porosidade aparente, absorção de água de acordo com a norma ISSO 10545-3 e retração linear. A avaliação da topografia da superfície das amostras sinterizadas foi realizada empregando a técnica de microscopia óptica com ampliação de 50X.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade encontrado para o resíduo úmido determinado logo após o polimento foi de 30,6% em peso e quando seco e quarteado foi de 1,0% em peso.

Na tabela 2 apresenta-se a composição química do porcelanato, do polidor e do resíduo de polimento obtidos pela técnica de fluorescência de raios X, pode-se observar que o resíduo apresenta elevada quantidade de sílica, alumina e óxido de magnésio e baixa quantidade de óxidos fundentes (CaO, SrO, Rb₂O e K₂O). Comparando os valores obtidos da composição química do porcelanato e abrasivo com a do resíduo, foi possível verificar que a alumina tem como provável origem o porcelanato, o óxido de magnésio está associado à base magnésiana presente no polidor e a sílica é oriunda do porcelanato e do abrasivo advindo do polidor. Dessa forma, pode-se afirmar que o resíduo é composto pela própria massa do porcelanato e pelo resíduo gerado pelo polidor^(1,5). A semelhança química indica a possibilidade de realizar o reaproveitamento do resíduo gerado no processo de produção do porcelanato dentro da própria indústria. Os óxidos constituintes são típicos de corpos cerâmicos utilizados na fabricação de peças cerâmicas para piso⁽⁸⁾.

Na figura 1 está ilustrado o difratograma da torta (resíduo obtido pelo polimento do porcelanato), observa-se que o resíduo é formado por uma fase vítrea (amorfa), evidenciada pela existência de um alargamento na linha base entre os ângulos 15° e 35° em 2 θ , e fases cristalinas que foram identificadas como sendo a mulita, quartzo, carbetto de silício e uma mistura entre os óxidos de magnésio e ferro.

Quando o porcelanato é queimado a partir de 1200 °C forma-se a fase mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) no material. Essa fase é formada a partir de espinélios e aluminossilicatos amorfos obtidos a 980°C, originado das argilas que possuem como minerais argilosos a caulinita e a illita, além de outros aluminossilicatos. De acordo com Marques⁽⁷⁾, o porcelanato é um material constituído por uma grande quantidade de fase vítrea e fases cristalinas que podem ser detectadas por meio da técnica de difração de raios X. A fase vítrea conterá os óxidos fundentes presentes no porcelanato (Fe_2O_3 , Na_2O e K_2O) que em geral se concentram na fase vítrea após o processamento⁽³⁾.

Tab. 2: Composição química (%em peso) da torta (resíduo do polimento do porcelanato), massa atomizada (porcelanato) e do polidor.

Composto	Torta		Porcelanato		Polidor	
	%em peso	desvio	%em peso	desvio	%em peso	desvio
SiO_2	66,12	0,23	68,18	0,19	22,13	0,09
Al_2O_3	18,61	0,32	25,44	0,267	-	-
ZrO_2	1,27	0,01	0,04	0,00	-	-
CaO	2,29	0,01	1,53	0,00	2,31	0,02
MgO	3,82	0,01	-	-	44,71	0,00
K_2O	3,40	0,01	2,30	0,01	0,18	0,01
Fe_2O_3	1,41	0,01	1,02	0,00	4,91	0,02
TiO_2	0,69	0,02	0,78	0,01	-	-
MnO	0,10	0,01	0,03	0,00	1,71	0,01
Rb_2O	0,07	0,00	0,05	0,00	-	-
Y_2O_3	0,04	0,00	0,01	0,00	-	-
SrO	0,04	0,00	0,03	0,00	-	-
Cl	-	-	-	-	22,83	0,07

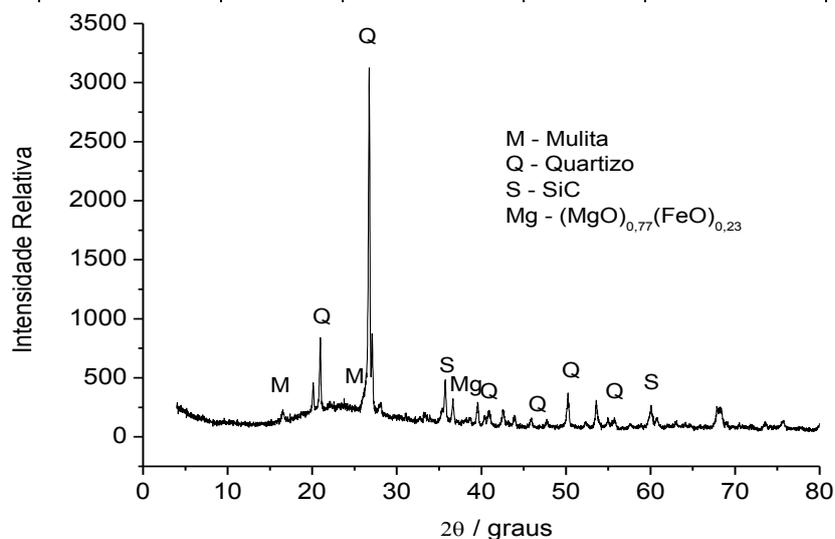


Fig. 1: Difratograma da torta (resíduo do polimento de porcelanato).

Pela análise da curva TG, figura 2, observa-se que o processo de decomposição do resíduo ocorre em quatro etapas distintas, identificadas por a, b, c e d, sendo que as três primeiras etapas, a, b e c, foram relacionadas à decomposição do resíduo, e a etapa d, foi relacionada à decomposição do carbeto de silício em óxido de silício, formando o resíduo final.

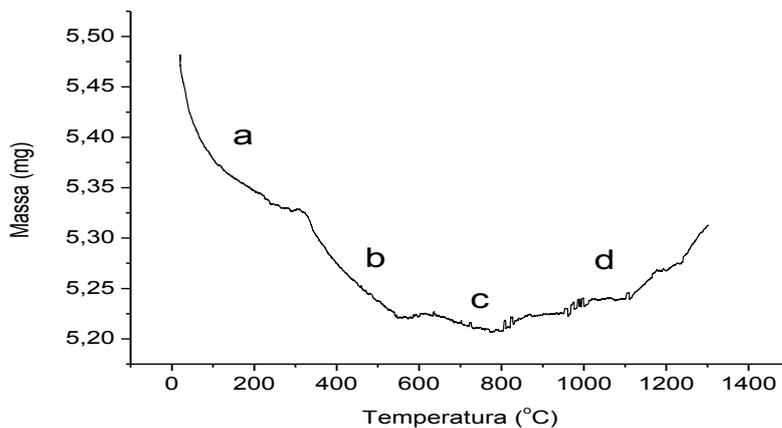


Fig. 2: Curva termogravimétrica do resíduo de polimento do porcelanato.

Na curva termogravimétrica, figura 2, devido à decomposição apresentada na etapa a (temperatura de 25 a 300,3°C) a amostra perde 2,74% em peso de sua massa. Na etapa b (temperatura de 300,3 a 600°C) a perda mássica foi de 1,92 % em peso e na etapa c (temperatura de 600 a 800,9°C) foi 0,28% em peso. A decomposição do carbeto de silício em óxido de silício ocorre na etapa d (temperatura de 800,9 a 1301,9°C), sendo observado um ganho de massa de 1,93% em peso. O processo de decomposição do carbeto de silício em óxido de silício pode ser representado por:



Com o uso da curva termogravimétrica, baseando-se nos dados da quarta etapa do processo de decomposição do resíduo do polimento do porcelanato, o teor de carbeto de silício no resíduo foi de 3,8% em peso.

Devido à liberação de gás carbônico durante a etapa de decomposição do carbeto de silício em óxido de silício, segundo alguns autores⁽¹⁻⁶⁾, a reutilização direta do resíduo do polimento de porcelanato é inadequada. Entretanto, esse trabalho busca verificar a possibilidade de adição de uma pequena fração de resíduo à massa do porcelanato, sem causar prejuízo à qualidade do produto final.

Os dados obtidos para as amostras sinterizadas pelos ensaios de retração linear, densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água de acordo com a norma ISSO 10545-3 são apresentados na tabela 3.

Tab. 3: Valores da retração linear, densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água.

Amostra	Retração linear (%)		Densidade Aparente (g cm ⁻³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção de Água (%)
	Diâmetro	Altura			
Branco	11,00	6,43	2,284	0,073	0,032
1	7,37	6,41	2,284	0,112	0,049
2	7,97	4,35	2,282	0,115	0,048
3	7,57	2,99	2,279	0,106	0,046
4	4,98	2,30	2,134	5,674	3,840
5	3,39	0,83	2,058	5,920	3,840
6	2,99	0,41	2,008	5,920	3,126

A figura 3 apresenta a densidade aparente dos corpos de prova após o processo de sinterização. Observa-se que até o teor de 2% em peso de resíduo não houve muita variação no valor da densidade aparente. Após esse valor, a densidade aparente decresce com o aumento do teor de resíduo adicionado, o que deve estar relacionado ao aumento da porosidade fechada nos corpos de prova, associado à decomposição do carbetto de silício e a liberação do dióxido de carbono (CO₂), que leva a uma expansão do material.

A figura 4 apresenta a porosidade aparente dos corpos de prova sinterizados em termo do teor em peso do resíduo adicionado. É observado novamente que até um teor de 2,0% em peso a porosidade aparente praticamente permanece constante, após este valor a porosidade aumenta com o aumento do teor de resíduo adicionado. Estes resultados corroboram com os observados para a densidade aparente, onde a redução dos valores de densidade aparente está associada ao aumento da porosidade dos corpos de prova.

Na figura 5 são apresentados os valores de absorção de água dos corpos de prova sinterizados em função do resíduo adicionado. Observa-se que até o teor de 2,0% em peso de resíduo adicionado à massa atomizada não há muita variação do teor de absorção de água, sendo que os valores observados para as amostras 1, 2, 3 e 4 são inferiores a 0,5% em peso. Para as amostras 5, 6 e 7 com o aumento do teor do resíduo aumenta o teor de absorção de água.

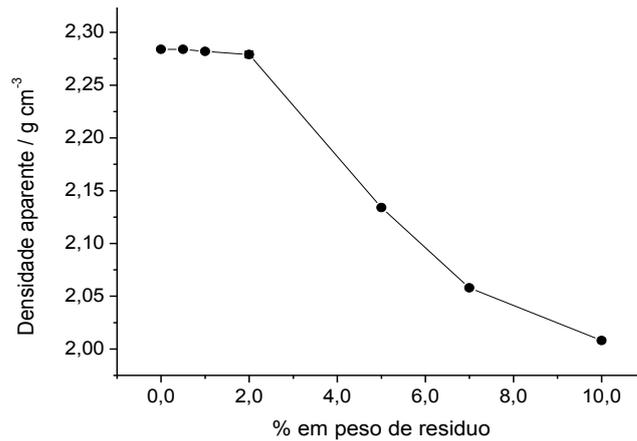


Fig.3: Densidade aparente dos corpos de prova sinterizados em termos do percentual em peso do resíduo.

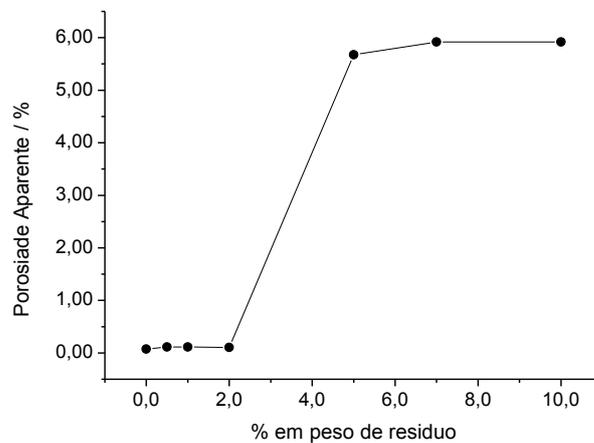


Fig.4: Porosidade aparente dos corpos de prova sinterizados em termos do percentual em peso do resíduo.

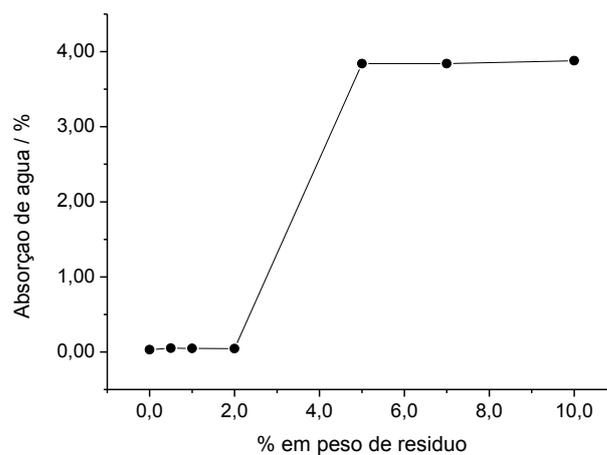


Fig. 5: Absorção de água dos corpos de prova sinterizados em termos do percentual em peso do resíduo.

Os dados de retração linear obtidos para as dimensões diâmetro e altura da amostra em termos do teor em peso do resíduo para as amostras sinterizadas são apresentados na figura 6. A análise da figura 6 indica que com a adição do resíduo do polimento do porcelanato, as dimensões do diâmetro e altura da amostra sofrem redução. Verifica-se uma tendência de redução dos valores de retração linear com o aumento do teor do resíduo.

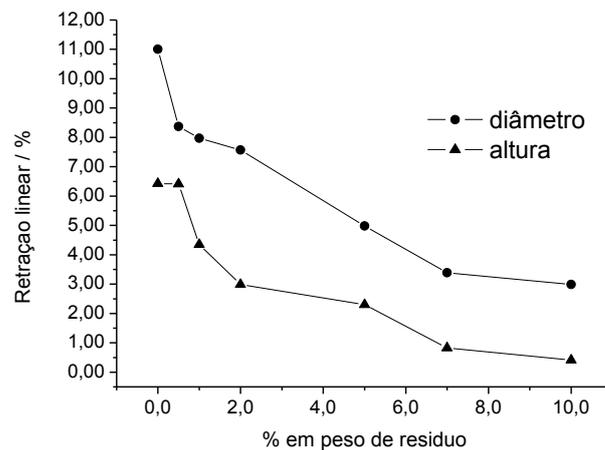


Fig.6: Retração linear dos corpos de prova sinterizados em termos do percentual em peso do resíduo.

A figura 7 apresenta as imagens das superfícies obtidas pela microscopia óptica das amostras após sinterização (aumento de 50X). As imagens obtidas indicam que o aumento do teor de resíduo até o valor de 10% em peso não induz o aparecimento de poros na superfície dos corpos de prova sinterizados, a qual é denominada de porosidade aberta.

Por inspeção visual das figuras obtidas com ampliação de 50X, até o teor de 10% em peso de resíduo adicionado à massa atomizada não se observa a formação de poros na superfície dos corpos de prova sinterizados.

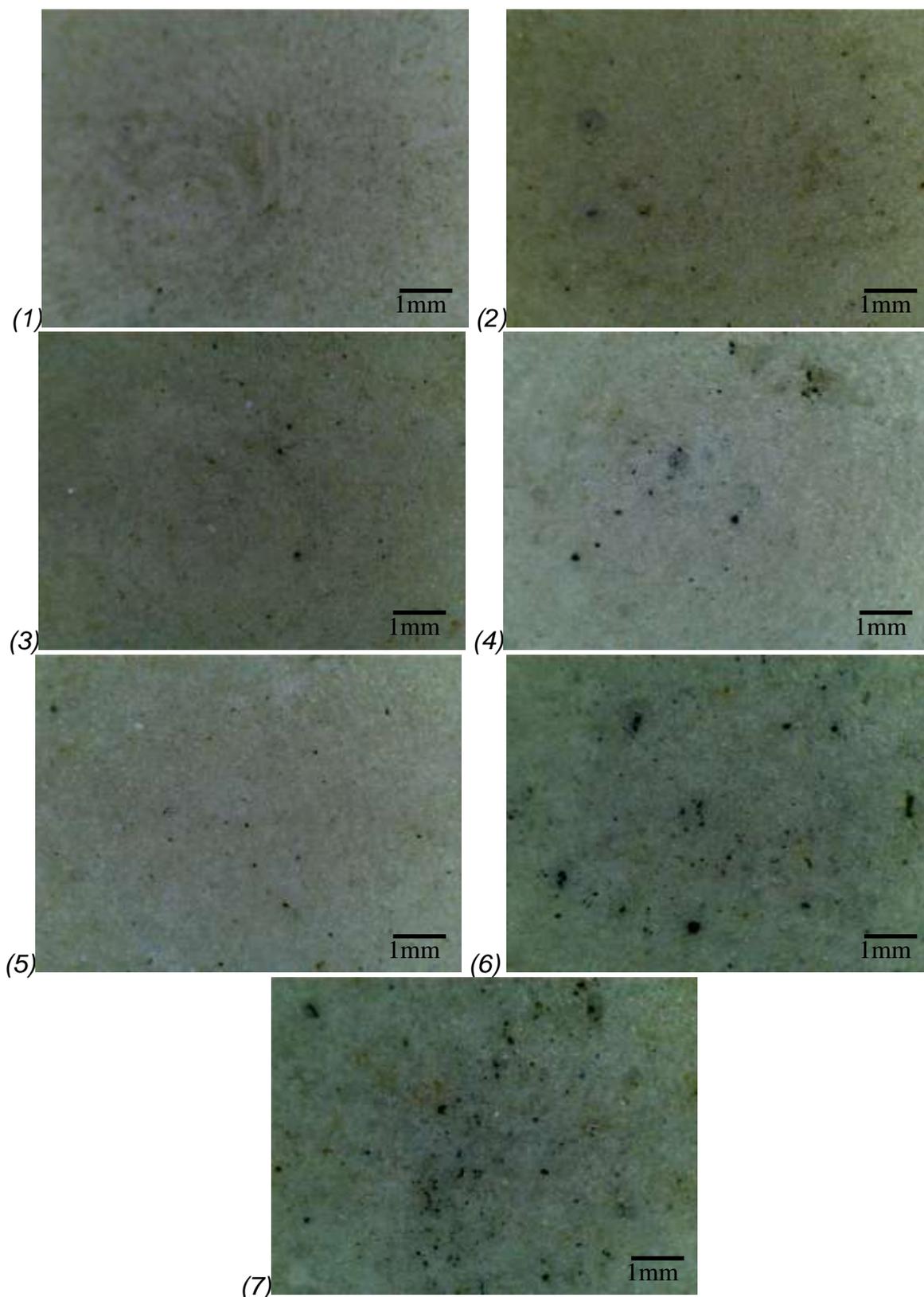


Fig.7: Imagens de microscopia ótica para as amostra: (1) Branco, (2) com 0,5% em peso de resíduo, (3) com 1,0% em peso de resíduo, (4) com 2,0% em peso de resíduo, (5) com 5% em peso de resíduo, (6) com 7,0% em peso de resíduo e (7) com 10% em peso de resíduo.

CONCLUSÕES

A composição química da torta (resíduo) é semelhante à da massa atomizada (porcelanato). As fases cristalinas presentes no resíduo são a mulita, o quartzo, $(\text{MgO})_{0,77}(\text{FeO})_{0,23}$ e o carbeta de silício.

O teor de carbeta de silício foi dosado no resíduo obtido durante o processo de polimento do porcelanato empregando-se a técnica TG, o valor encontrado foi de 3,8% em peso.

Os testes indicaram que até 2,0% em peso de resíduo pode ser adicionada à massa atomizada sem perdas significativas na densidade aparente, porosidade aparente, retração linear e absorção de água. Estes resultados confirmam o potencial de utilização do resíduo na própria formulação de porcelanatos.

Até o valor limite de 2,0% em peso de resíduo os corpos de prova apresentaram alta densidade relativa, absorção de água inferior a 0,5% e baixa porosidade relativa, o que os caracterizam como porcelanatos de baixa absorção e resistência mecânica alta (0 a 0,5%), as demais amostras apresentaram absorção de água acima de 3,0% e podem ser classificados como semi-Grês de média absorção e resistência mecânica média (3 a 6%).

AGRADECIMENTOS

FAPEMIG, CNPQ, CEFET-MG, CECRISA, TECMAT/CEFET-MG.

REFERÊNCIAS

1. ANFACER, 2012. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/site/default.aspx?idConteudo=157&n=Hist%C3%B3ria-da-Cer%C3%A2mica>> Acesso em: 9 set. 2012.
2. KUMMER, L. et al. Reutilização dos resíduos de polimento de porcelanato e feldspato na fabricação de novo produto cerâmico. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 03, n.12, p. 34 - 38, maio/jun. 2007.
3. SILVA, J. R. R. **Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmicos**. 2005. 66f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

4. ALVES, H. J. et al. Polimento de peças de porcelanato: avaliação da porosidade final e da resistência ao manchamento. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 15, n.02, p. 23-29, mar/abr 2010.
5. SOUZA, P. A. B. F. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. 2007. 208 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
6. ROSSO, J.; CUNHA, E. S. ROJAS-RAMIREZ, R. A. Características técnicas e polimento de porcelanatos. **Cerâmica Industrial**, v. 10, n. 4, p. 11-14, 2005.
7. MARQUES L. N., et al. Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v.2, n. 2, p. 34 – 42, 2007.
8. EFFTING, Carneane; FOLGUERAS, Marilena Valadares, GÜTHS, Saulo, ALARCON, Orestes. Microstructural characterization of ceramic floor tiles with the incorporation of wastes from ceramic tile industries. **Materials Research**, v. 13, n. 3, 319-323, 2010.

REUSING THE RESIDUES THAT COME FROM THE POLISHING OF PORCELAIN TILES DURING THE PRODUCTION OF NEW PRODUCTS MADE OF CERAMICS

Abstract

Ceramic industries are conducting extensive research in order to reduce and reuse waste generated during the production process, as well as to propose an improvement in the quality and efficiency of the process. During the polishing of porcelain tiles are generated large amounts of waste. In this work the residue of porcelain tiles was characterized by thermogravimetric analysis, x-ray diffraction, x-ray fluorescence, linear shrinkage, water absorption, bulk density, apparent porosity and optical microscopy. Mixtures with different proportions of residue and atomized mass (mass of porcelain tiles) were obtained to assess what proportion would be loss of materials visual and structural characteristics. It was observed that until the content of 2% by weight of residue in the porcelain mass there was little visual change.

Key words: reuse, porcelain tiles, waste, ceramic.