

Influência da adição de resíduo de caulim nas propriedades tecnológicas de uma massa padrão de porcelanato produzido em escala industrial

(Influence of kaolin waste addition on technological properties of a standard stoneware formulation produced in industrial scale)

M. L. Varela¹, F. L. Formiga², R. P. S. Dutra³, R. M. do Nascimento², C. A. Paskocimas^{2,3}

¹Cefet-PI / Uned - Parnaíba, PI 64215-000

²Departamento de Engenharia Materiais - DEMAT

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Av. Salgado Filho 2860, Lagoa Nova, Natal, RN 59075-900
marcio.varela@gmail.com

Resumo

Atualmente existe uma grande preocupação por parte das indústrias com a disposição dos resíduos gerados ao longo do processo produtivo. No setor mineral não é diferente, pois este gera grande volume de resíduos. Verificou-se que a indústria de beneficiamento do caulim descarta grandes volumes de resíduo constituído basicamente de caulinita, mica muscovita e quartzo, ocasionando um impacto ambiental, o que tem justificado os esforços de pesquisas para sua solução. Deste modo, foi estudado o efeito da incorporação de um resíduo proveniente do beneficiamento de caulim sobre as propriedades físicas e tecnológicas de revestimentos cerâmicos de alta qualidade. O objetivo é caracterizar e estudar o processamento do resíduo proveniente da indústria de beneficiamento do caulim com adição de uma “massa padrão”, fornecida por uma indústria de revestimento cerâmico. O resíduo foi caracterizado por meio de análises de difração de raios X, fluorescência de raios X e determinação do tamanho de partículas. Foram realizados ensaios de absorção de água, porosidade aparente, retração linear após queima, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão, para determinação das propriedades tecnológicas destes materiais. Os resultados mostram que o resíduo estudado pode ser considerado como matéria-prima de grande potencial para a indústria de pisos e revestimentos cerâmicos.

Palavras-chave: resíduo de caulim, porcelanato, cerâmica de revestimento.

Abstract

There is a great concern by the industrial area on the disposal of waste generated during the production process. In the mineral sector the situation is the same, because large volumes of waste are disposed. The kaolin processing industry generates waste consisting mainly of kaolinite, mica and quartz muscovite, causing an environmental impact, justifying the research efforts to find a solution for this problem. The effect of the waste from the kaolin processing incorporation on the technological and physical properties of high quality tiles was here studied. This work aims to characterize and to study the processing of the kaolin waste from the industry of kaolin processing by adding of a “standard mass” supplied by an industry of ceramic tiles. The waste was characterized by X-ray diffraction, X-ray fluorescence and determination of particle size. Water absorption, apparent porosity, linear firing after sintering, apparent density and bending modulus of rupture analyses were carried out to determine the materials technological properties. Preliminary results show that the studied waste can be considered as a potential raw material for the industry of floor and ceramic tile.

Keywords: kaolin waste, stoneware, ceramic tile.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem ocorrido um crescente interesse na prevenção da poluição ambiental, minimização de resíduos e desenvolvimento sustentado, sobretudo no campo dos materiais. O setor mineral gera grandes quantidades de resíduos de diversos tipos e níveis de periculosidade, como por exemplo, a indústria de beneficiamento do caulim, a qual gera resíduos à base de caulinita em grandes quantidades. O descarte de resíduos, de um modo geral, ocasiona um impacto ambiental muito forte, o que tem justificado o

esforço de pesquisa visando encontrar uma solução racional para este problema.

O mercado mundial de revestimento cerâmico segue sua tendência de crescimento, sendo a China líder em produção e consumo. O Brasil, com sua produção crescente, tende nos próximos anos superar Itália e Espanha, tornando-se o segundo produtor mundial. No comércio internacional, observa-se um rápido e acentuado crescimento das exportações chinesas. Os Estados Unidos da América seguem como maior mercado importador, do qual o Brasil já é o terceiro fornecedor mundial, logo, uma alternativa

interessante, ainda não posta em prática, é o aproveitamento deste resíduo em massas argilosas para obtenção de revestimentos cerâmicos de forma eco-eco (econômico-ecológica).

O nome “grês porcelanato” deriva de “grês”, denominação de materiais cerâmicos com estruturas compactas, caracterizadas por uma fase cristalina imersa em uma fase vítrea predominante, e “porcelanato” é o termo que se refere às características técnicas do produto que substancialmente lembram as porcelanas [1]. Uma característica marcante desse produto é o baixo grau de absorção de água, quando comparados aos outros tipos de placas cerâmicas, sendo da ordem de 0% a 0,5%. Esse tipo de característica reflete de maneira direta, o grau de porosidade do produto, ou seja, quanto menor o teor de absorção de água, menor o índice de porosidade e conseqüentemente maior a compacidade do produto. Apresentando, dessa forma, características mecânicas superiores [2].

No que diz respeito ao aspecto dimensional, durante o processo de sinterização do porcelanato, por volta de 1250 °C ocorrem retrações no produto que aumentam à medida que a temperatura aumenta. Este comportamento é conseqüência da grande quantidade de fase líquida formada, promovida pela presença de materiais fundentes na massa [3]. Dessa forma, tal variação deve ser verificada em função da área superficial da peça. Quanto à resistência a flexão, a extrema compactação deve ser confirmada pelo alto valor desse parâmetro, a qual deve ser em média de 35 MPa [4].

O objetivo principal desse trabalho é a utilização de resíduos gerados nas indústrias de exploração e beneficiamento de caulim no Rio Grande do Norte, para a fabricação de produtos para revestimento cerâmico em escala industrial. Para isso, foi estudada a influência do acréscimo do resíduo a uma massa padrão usada na produção de revestimento cerâmico por uma indústria produtora de porcelanato, com a intenção de se verificar a possibilidade de se produzir um revestimento cerâmico de base branca, com boa resistência mecânica e absorção de água dentro das normas técnicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se um resíduo de caulim (RC) gerado por uma indústria de beneficiamento de caulim localizada na cidade de Equador, RN, e a massa padrão (MP) industrial para produção de grês porcelanato de uma indústria de cerâmica. A intenção do uso do resíduo de caulim como matéria-prima na produção do grês porcelanato é de substituir o caulim e entrar na composição como material fundente, no caso, em substituição ao feldspato, por seu alto teor de mica muscovita. O processamento do resíduo de caulim realizado em moinho de bolas por via úmida, na relação de 40%, em massa, de água. Após a moagem, a barbotina foi colocada em uma bandeja e seca a 110 °C por 24 h em estufa. Em seguida, o resíduo moído foi desaglomerado em almofariz e passado em peneira de malha 200 mesh e acondicionado em sacos plásticos. A massa padrão industrial foi fornecida em

condições de mistura.

Antes das formulações, a matéria-prima foi caracterizada por meio de análises química por fluorescência de raios X (FRX) e mineralógica por difração de raios X (DRX). Com base nos resultados de FRX e DRX, foi realizada a análise racional do resíduo de caulim utilizando-se o programa computacional para análise racional de argilominerais “MIDS” desenvolvido na UFRN.

A Tabela I contém as formulações estudadas, obtidas pela combinação de diferentes proporções do resíduo de caulim processado e da mistura padrão. Essas formulações foram misturadas e homogeneizadas por via úmida durante uma hora em moinho de bolas excêntrico, o mesmo anteriormente mencionado. Em seguida, a barbotina resultante foi despejada em uma bandeja e seca a 110 °C por 24 h em estufa. As diferentes misturas foram desaglomeradas em almofariz e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados.

O processo de mistura e homogeneização usado

Tabela I - Formulações com resíduo de caulim e argila.
[Table I - Formulations with kaolin waste and clay].

Matérias-primas	Resíduo de Caulim	Argila Plástica
	% em peso	
MP0	100	0
MP1	99	1
MP2	98	2
MP4	96	4
MP8	92	8
MP16	84	16
MP32	68	32

na preparação das formulações foi realizado em moinho excêntrico. Os parâmetros usados no processo foram: moagem via úmida com teor de umidade de aproximadamente 65% em peso e durante um tempo de 30 minutos. Em seguida a barbotina das formulações foram secas a 110 °C por 24 h. Após o processo de secagem as misturas foram desaglomeradas em almofariz, passadas em peneira de 65 mesh para melhor granulação da massa e em seguida foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados.

Para a confecção dos corpos-de-prova, as diferentes formulações, na forma de pó, tiveram o teor de umidade ajustado em 7% ($\pm 1\%$) em massa para em seguida serem granuladas em peneira de 65 mesh. O pó granulado foi separado em porções de 12 g para obtenção de corpos-de-prova de mesma massa e dimensões de 60 mm x 20 mm x 5 mm. Foram confeccionados nove corpos-de-prova para cada composição por prensagem uniaxial sob uma pressão de 50 MPa (prensa hidráulica Schulz PHS-15t). Após a etapa de moldagem, os corpos-de-prova foram secos em estufa a 110 °C por 24 h, e iniciou-se o processo de sinterização dos mesmos em um forno elétrico (Jung 2314), em grupos

de três amostras para cada temperatura de sinterização. As composições foram tratadas termicamente nas temperaturas de 1210 °C, 1230 °C e 1250 °C. Com taxa de aquecimento fixada em 15 °C/min até a temperatura final e o tempo de patamar em 15 min. Após o processo de sinterização, os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios tecnológicos para determinação das propriedades físico-mecânicas de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), retração linear (RL), massa específica aparente (MAE) e tensão de ruptura a flexão em três pontos (TRF) segundo critérios previstos pela norma NBR 13818/1997.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figs. 1 e 2 são apresentados os resultados das análises dos tamanhos de grãos da mistura padrão e do resíduo de

caulim, respectivamente. Observa-se que estes apresentam seus valores médios, D50, para tamanho dos grãos na ordem de 39 μm para o resíduo de caulim e 10 μm para a mistura padrão. O valor de D50 do resíduo está acima do valor recomendado para produção de grês/porcelanatos, ou seja, próximo de 20 μm. No entanto, um ponto importante é que a faixa de distribuição de tamanho de partículas do resíduo está contida dentro do intervalo observado para a mistura padrão, o que permite melhorar o comportamento de empacotamento desta massa [5].

A possibilidade de melhor empacotamento, citada anteriormente, pode ser observada pelos resultados das análises apresentados nas Figs. 3 e 4, respectivamente para as formulações de massas MP2 e MP8. As massas resultantes apresentaram para o diâmetro médio, D50, valores iguais a 8,01 μm para a formulação MP4 e 6,31 μm para a formulação

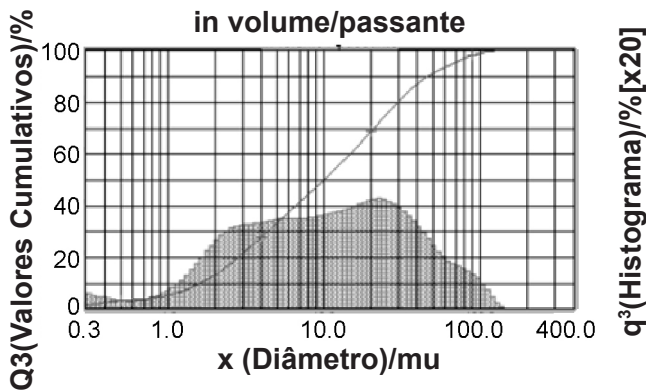


Figura 1: Curva de distribuição acumulada de partículas da mistura padrão.
[Figure 1: Cumulative particle size distribution of the standard mass].

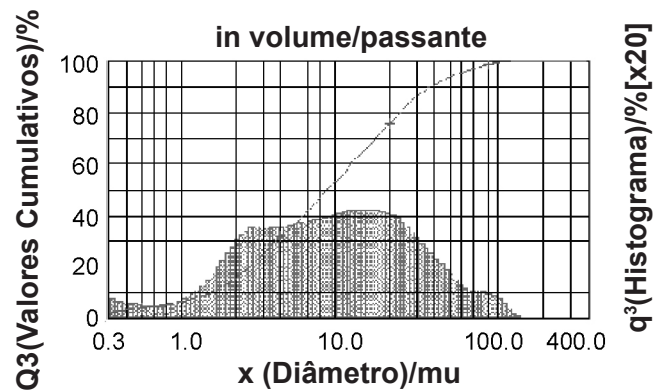


Figura 3: Curva de distribuição acumulada de partículas da formulação MP4.
[Figure 3: Cumulative particle size distribution of the formulation MP4].

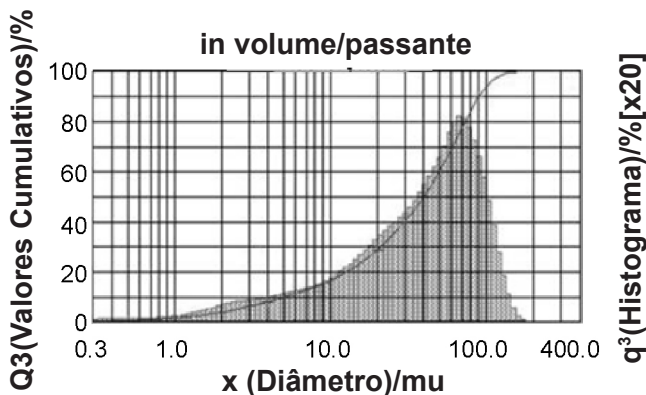


Figura 2: Curva de distribuição acumulada de partículas do resíduo de caulim.
[Figure 2: Cumulative particle size distribution of the kaolin waste].

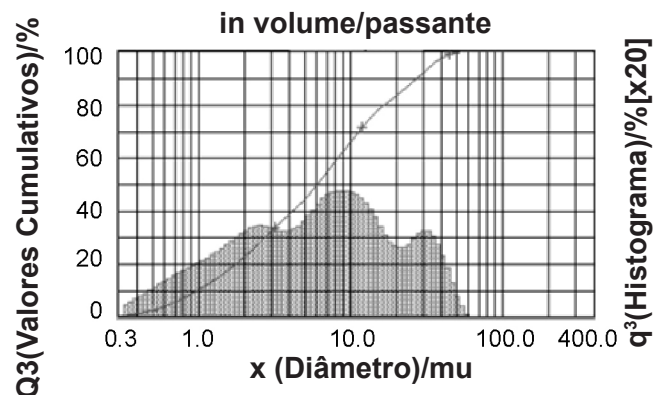


Figura 4: Curva de distribuição acumulada de partículas da formulação MP8.
[Figure 4: Cumulative particle size distribution of the formulation MP8].

Tabela II - Composição química do resíduo de caulim.
 [Table II - Chemical composition of the kaolin waste].

Óxidos	Resíduo de caulim (%)
SiO ₂	44,25
Al ₂ O ₃	48,66
Fe ₂ O ₃	1,02
K ₂ O	5,24
CaO	-
Na ₂ O	-
MgO	0,44
Outros	0,39

MP8, o abaixamento do diâmetro mínimo pode ter ocorrido devido ao processo de homogeneização a úmido que foi realizado em moinhos de bolas excêntrico durante 30 min. Sendo assim, o balanço granulométrico da mistura deve melhorar as características de empacotamento e facilitar as reações de densificação e vitrificação do produto final.

A Tabela II contém o resultado da análise química do resíduo estudado em percentual mássico e na forma de óxidos.

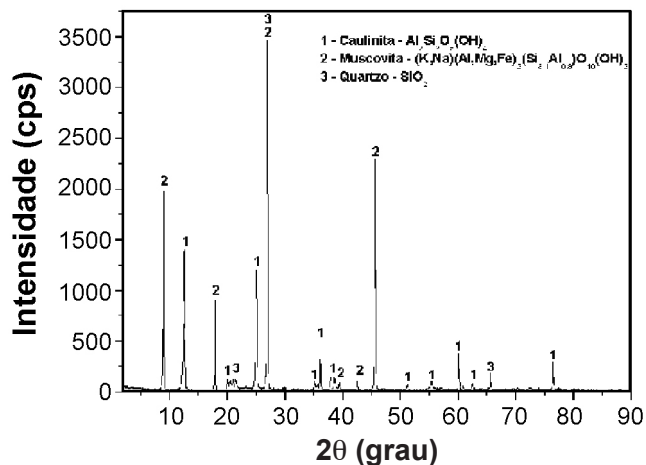


Figura 5: Difração de raios X do resíduo de caulim.
 [Figure 5: Kaolin waste X-ray diffraction].

Os resultados mostram que o resíduo de caulim apresenta uma relação alumina/silica de aproximadamente 1:1 e um teor de óxido de ferro abaixo de 2%, podendo se comportar como uma matéria prima formadora de estrutura mesmo em temperaturas elevadas. Por outro lado, o teor de óxido de potássio é elevado, isto deve conduzir a formação de fase líquida abundante acima de 1100 °C. Além disso, devido ao alto teor de alumina em relação aos óxidos de sódio, ferro, cálcio e manganês, a fase líquida formada durante o processo de sinterização, pode se comportar como uma fase líquida de alta viscosidade ou uma fase transiente, o que é desejável para a obtenção de produtos com propriedades físicas e mecânicas mais elevadas.

O difratograma de raios X do resíduo de caulim, apresentado na Fig. 5, revela a presença das fases caulinita, mica muscovita e quartzo.

Os resultados de análise química demonstram a presença de CaO, Na₂O e MgO em pequenas porcentagens, podendo ser atribuídos a possíveis fases acessórias, que não puderam ser identificadas nos difratogramas de raios X, ou serem associadas a presença de matéria orgânica presente na argila. Estes óxidos minoritários foram incluídos na análise racional.

A Tabela III contém os resultados da análise racional das matérias-primas, obtida através do programa computacional MIDS.

Tabela III - Análise racional das matérias-primas.
 [Table III - Rational analysis of raw materials.]

Matérias-primas	Resíduo de caulim (%)
Quartzo	3,0
Hematita	1,0
Mica Muscovita	41,0
Caulinita	54,0
Acessórios*	1,0

O resultado da análise racional da matéria-prima comprova os resultados obtidos na difração de raios X. Verifica-se que o resíduo de caulim apresenta caulinita, mica muscovita e do quartzo como fase minoritária. Os efeitos da caulinita é que esta se caracteriza como um excelente formador de estrutura em uma ampla faixa de temperatura, enquanto a mica muscovita pode atuar como um fundente em temperaturas mais elevadas de sinterização.

A retração linear após queima é apresentada na Fig. 6 para todas as formulações que contém resíduo de caulim (MP1 a MP32) e para a massa padrão (MP0). Os corpos-de-prova com presença de resíduo de caulim em sua massa apresentam uma tendência semelhante ao longo das três temperaturas de sinterização, apresentando um maior percentual de retração na temperatura mais baixa de sinterização, de 8,58% a 9,13%, para as formulações com resíduo de caulim sinterizadas a 1210 °C. Esse comportamento pode ser atribuído à maior perda de massa destas composições, devido à decomposição da caulinita, gerando partículas muito reativas e de elevada sinterabilidade, além da grande formação de fase líquida, também devido à presença do resíduo de caulim, que além de caulinita, é rico em mica muscovita, que por sua vez, possui teor elevado de potássio (K₂O), que contribui de forma efetiva para a formação de fase líquida.

Esse comportamento também pode ser um indicador de que os processos de sinterização estão ocorrendo em uma temperatura inferior à que ocorre quando se utiliza a massa padrão, sem a presença do resíduo de caulim, indicando a possibilidade de redução da temperatura de sinterização, que acarretará em uma diminuição dos custos energéticos na indústria e de tempo do ciclo de sinterização, ou seja,

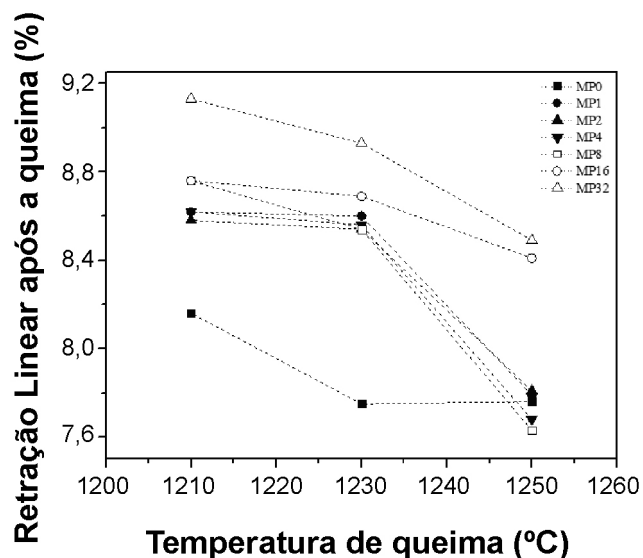


Figura 6: Retração linear de queima dos corpos de prova.
[Figure 6: Linear shrinkage of the sample bodies.]

maior produtividade. Por outro lado, na temperatura mais elevada ocorre o inverso, ou seja, os corpos-de-prova retraem menos. Essa redução do percentual de retração linear pode estar diretamente ligada às reações de redução que ocorrem durante o processo de sinterização, promovendo o inchamento das peças, devido ao aprisionamento dos gases liberados no interior das mesmas durante essas reações, aumentando o volume do corpo-de-prova sinterizado podendo prejudicar suas características de resistência mecânica e absorção de água. Em relação à formulação MP32, apesar de apresentarem o mesmo comportamento das demais formulações com presença do resíduo de beneficiamento do caulim, não atende a uma das condições exigidas para o produto no que diz respeito à retração linear, pois a mesma apresenta uma retração acima de 9%, que é a máxima permitida para produtos de cores únicas. Desta maneira, fica evidenciada a necessidade de estudos de

formulações com teores de resíduo de caulim entre 16% e 32%, uma vez que pode acarretar retrações exageradas, o que não é desejado nem permitido por Norma.

A Tabela IV contém os resultados de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente das amostras analisadas.

Os resultados comprovam que as composições com a presença do resíduo do caulim sinterizam melhor nas temperaturas mais baixas e, deste modo, apresentam os valores de porosidade menores devido à elevada quantidade de fase vítrea promovida pelo resíduo, provavelmente pela presença da mica muscovita que juntamente com o feldspato, presente na massa padrão, funciona como fundentes durante o ciclo de queima. Contudo, em temperaturas mais elevadas a situação se inverte, ou seja, sofrem um aumento do percentual de porosidade, possivelmente devido às reações de redução que podem ocorrer em temperaturas mais elevadas. A porosidade tem influência direta na resistência mecânica do sinterizado, sendo assim, quanto menor o percentual de poros mais resistente será o corpo, o que pode ser um indicador da possibilidade de melhoria da massa padrão com o acréscimo do resíduo de caulim. O resultado apresentado para absorção de água confirma o exposto acima, ou seja, nas situações em que a retração linear é menor e a porosidade aparente é maior, obtém-se um maior percentual da absorção de água, ou seja, nas temperaturas mais elevadas, com exceção da MP0, que é a massa padrão sem a presença de resíduo, observa-se um percentual elevado de absorção de água, o que está de acordo com o produto encontrado e testado no mercado da empresa em questão. No caso da temperatura mais baixa, nos corpos cerâmicos com presença de resíduo de caulim, permaneceu o esperado, ou seja, menor percentual de absorção de água, que foi devidamente explicado anteriormente. A absorção de água para a temperatura de 1250 °C apresentam uma particularidade, pois são menores que os da temperatura de 1230 °C, isso se deve a grande vitrificação da superfície externa dos corpos-de-prova promovida pela grande quantidade de material

Tabela IV - Absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (MEA) dos corpos de prova após queima.

[Table IV - Water absorption, apparent porosity and apparent density of the fired samples.]

	AA	PA	MEA	AA	PA	MEA	AA	PA	MEA
	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(%)	(g/cm ³)
	1210 °C			1230 °C			1250 °C		
MP0	0,55	1,31	2,37	0,46	1,08	2,35	0,23	0,53	2,35
MP1	0,06	0,15	2,41	0,20	0,48	2,39	0,28	0,66	2,34
MP2	0,10	0,24	2,41	0,25	0,60	2,39	0,26	0,61	2,33
MP4	0,08	0,19	2,41	0,38	0,90	2,39	0,30	0,71	2,33
MP8	0,14	0,34	2,41	0,30	0,73	2,39	0,25	0,74	2,33
M16	0,14	0,34	2,41	0,43	0,97	2,41	0,11	0,25	2,28
MP32	0,02	0,04	2,42	0,19	0,46	2,40	0,05	0,11	2,24

fundente presente nas misturas com resíduo de caulim. Os resultados da análise da massa específica aparente estão intrinsecamente ligados à quantidade de poros existente no corpo cerâmico sinterizado. No resultado apresentado a seguir, pode-se notar um decréscimo gradual da massa específica aparente à medida que se aumenta a temperatura de sinterização. Este comportamento é igual para todas as composições com presença do resíduo de caulim, exceto a MP1 que devido ao pequeno percentual não sofreu uma influência significativa em suas propriedades. Na temperatura de 1210 °C os corpos-de-prova, com presença do resíduo de caulim, apresentam uma massa específica aparente consideravelmente superior às outras temperaturas. Isso se deve a presença da mica muscovita, presente no resíduo de caulim, que juntamente com o feldspato-K e a albita presente na massa padrão, MP0, promovem a formação de fase líquida. Esta escoou para os interstícios existentes entre as partículas, mais refratárias, e por força de capilaridade, provoca a aproximação dessas partículas o que resulta em uma retração bastante significativa, como foi apresentado anteriormente. Quanto maior a quantidade de material que se funde e menor a viscosidade do líquido formado, maior será a retração e conseqüentemente maior a densidade do sinterizado.

Na Fig. 7 é apresentado o comportamento da resistência mecânica sob flexão em três pontos dos corpos-de-prova em função das temperaturas de sinterização e do percentual de resíduo de caulim presente na massa. Nota-se que as formulações que possuem o resíduo de caulim em sua massa apresentam os melhores resultados, quando comparadas com a MP0. Outro ponto a se destacar é a diferença considerável de resistência entre a maior e a menor temperatura de sinterização, o que confirma os resultados apresentados até aqui. Este comportamento pode estar associado à grande quantidade de fase vítrea presente nas temperaturas mais baixas, e a formação de mulita promovida pelo acréscimo

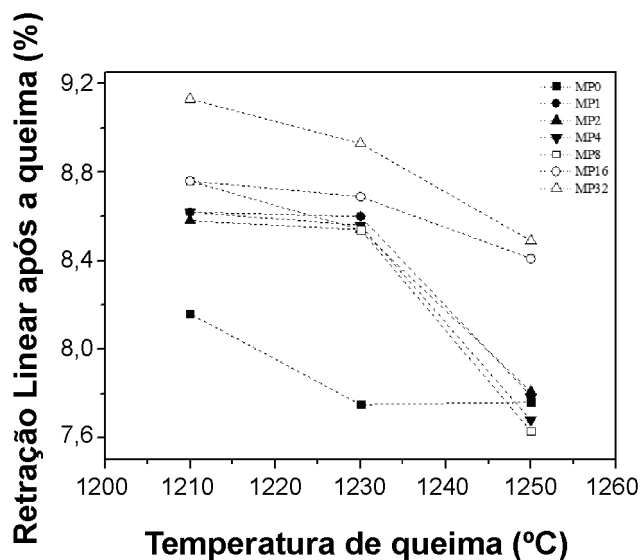


Figura 7: Módulo de ruptura dos corpos de prova após queima. [Figure 7: Modulus of rupture of the fired sample bodies].

de resíduo de caulim. Com o aumento da temperatura ocorre a dissolução dos cristais de mulita secundária e aumento da quantidade de fase amorfa e fase vítrea, tornando o corpo cerâmico mais frágil, além do aumento da quantidade de poros no interior do corpo, fato este, comprovado anteriormente pela análise da massa específica aparente. A MP32 apresenta um comportamento diferente das demais formulações com resíduo de caulim. Acredita-se que a redução de sua resistência esteja diretamente ligada ao excesso de fase vítrea produzida nas três temperaturas, essa fase líquida é capaz de dissolver parte dos cristais de mulita, primária e secundária e ainda mudar o processo de nucleação e crescimento dos cristais de mulita secundária. Como poderá ser observado na análise das micrografias dos corpos-de-prova posteriormente.

Como pode ser observado, a massa padrão com presença do resíduo de caulim apresentou uma melhora significativa em suas propriedades em relação a massa padrão sem o resíduo quando sinterizada em sua temperatura de 1230 °C, outro fato que também pode ser observado é a melhoria dessas mesmas propriedades nos corpos com presença do resíduo de caulim quando sinterizado a 1210 °C, esse tipo de comportamento sugere uma possível redução da temperatura de sinterização na indústria.

A caracterização microestrutural de toda a série de amostras contendo resíduo permitiu apreciar o efeito do mesmo na evolução microestrutural. A Fig. 8 contém a micrografia referente à amostra MP2, sinterizada a 1210 °C. Os resultados mostram que a amostra tratada a 1210 °C apresentou uma microestrutura com melhor formação de cristais de mulita secundária comparativamente à amostra sem resíduo. Sendo assim, a presença de resíduo de caulim contribuiu para melhorar a formação de mulita secundária. Este resultado pode ser atribuído ao aumento da quantidade de fase vítrea proporcionado pela introdução de mica no sistema.

Por outro, lado, o aumento da temperatura de sinterização

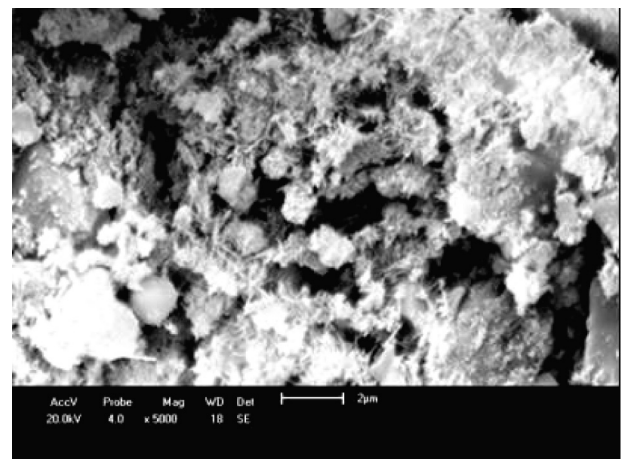


Figura 8: Micrografia por MEV da amostra MP2 sinterizado a 1210 °C no forno elétrico.

[Figure 8: SEM micrographs MP2 sample sintered at 1210 °C in the electric oven].

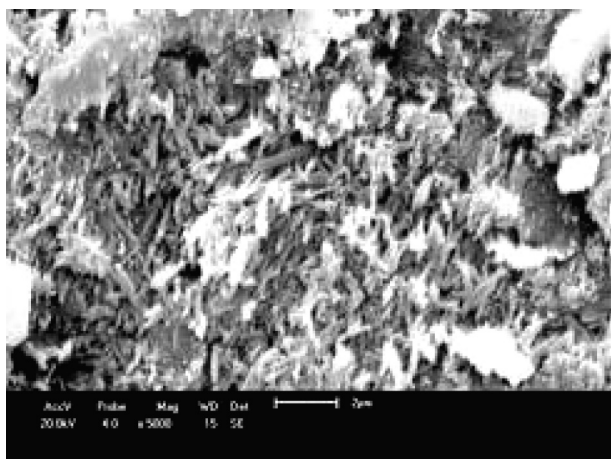


Figura 9: Micrografia por MEV da amostra MP2 sinterizado a 1230 °C no forno da indústria cerâmica.

[Figure 9: SEM micrograph of MP2 sample sintered to 1230 °C in the ceramics industry oven].

para 1230 °C conduziu a formação de uma microestrutura com características distintas, conforme observado na Fig. 9 (MP2-1230 °C). Pode-se perceber a presença dos cristais aciculares de mulita. No entanto, estes se apresentam maiores e com uma morfologia não tão característica dos cristais de mulita secundário, ou seja, tipo agulhas imbricadas. Este resultado pode ser associado à presença de mica associada ao aumento de temperatura, conduzindo à formação de uma maior quantidade de fase líquida. Essa fase líquida é capaz de dissolver parte dos cristais de mulita, primária e secundária e ainda mudar o processo de nucleação e crescimento dos cristais de mulita secundária, conforme pôde ser observado anteriormente nos resultados dos ensaios tecnológicos referente ao módulo de ruptura a flexão em três pontos.

CONCLUSÕES

Pode-se constatar que os valores sugeridos pela Norma NBR 13818 - Placas cerâmicas para revestimentos - Especificação e Métodos de Ensaio, foram superados nas várias formulações propostas neste trabalho. De modo geral, a introdução do resíduo de caulim a massa padrão promove melhorias no produto final até uma determinada proporção. Dessa maneira, entende-se que é viável o uso do resíduo de

beneficiamento do caulim, o que, conseqüentemente, resulta numa diminuição do passivo da empresa geradora e minimiza os custos com as matérias-primas da indústria cerâmica, contribuindo assim com a minimização dos prejuízos sociais e ambientais causados pelas atividades de exploração e beneficiamento de matérias-primas cerâmicas. A presença do resíduo em adição a massa padrão manteve e/ou melhorou os resultados dos ensaios tecnológicos realizados, confirmando a tendência de diminuição da temperatura de sinterização devido à maturação da massa antes da temperatura utilizada no processo de sinterização na indústria, o que indica uma possível diminuição da temperatura de sinterização, gerando, com isso, uma redução dos custos energéticos na indústria e de tempo do ciclo de sinterização. Um fato importante é que o resíduo de caulim, que ainda hoje é descartado como material sem função, pode ser visto como matéria-prima promissora da indústria de pisos e revestimentos cerâmicos seja como material fundente, devido à grande quantidade de mica muscovita presente em sua constituição, seja como material formador de estrutura devido ao caulim, além de promover uma queima clara o que aumenta o valor agregado do produto final.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Palmonari, G. Timellini, Ceramic Floor and Wall Tile: Performance and Controversies, Sassuolo, Itália, Edi.Cer. (1989) 38-42.
- [2] A. M. Maliska, Caracterização de revestimentos cerâmicos, Curso de Graduação em Eng. Mecânica, UFSC, SC (2000) 78p.
- [3] A. Boschi, Queima de Corpos Cerâmicos, disponível em: <www.centraldaceramica.com.br/Central/web/informas/dicas/defeitos_vidrados.htm> (14/11/2005).
- [4] G. Biffi, O Grês Porcelanato - Manual de fabricação e técnicas de emprego, Faenza Editrice do Brasil Ltda., S. Paulo, SP (2002) 32.
- [5] P. Souza Santos, Ciência e Tecnologia de Argilas, Ed. Edgard Blücher Ltda., S. Paulo, SP (1989) 56-58. (Rec. 09/07/2008, Ac. 12/09/2008)