

Resíduo De Quartzito – Matéria-Prima Alternativa Para Ser Incorporada em Massas Utilizadas na Produção de Grés Porcelanato

K. R. Silva^{1*}, L. F. A. Campos², L. N. L. Santana¹

¹ Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB, CEP 58429-900, Brasil.

² Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa – PB, CEP 58051-900, Brasil.

(Recebido em 17/05/2018; revisado em 15/06/2018; aceito em 19/07/2018)
(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

O quartzito é uma rocha constituída majoritariamente por grãos de quartzo. As técnicas adotadas para sua extração e beneficiamento resultam em uma elevada geração de resíduos, geralmente descartados diretamente no meio ambiente. O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação de resíduos de quartzito em uma massa cerâmica industrial utilizada para fabricação de revestimento. Composições com até 20% em peso de resíduos, com diferentes granulometrias, foram preparadas e caracterizadas química e fisicamente. Após conformação por prensagem uniaxial, as peças foram sinterizadas a 1240°C e submetidas aos ensaios de retração linear de queima, absorção de água e resistência à flexão. Os resultados mostraram que resíduos de quartzito podem ser utilizados como matéria-prima não plástica na produção de revestimentos. Segundo a norma ISO 13006, as peças contendo até 15% em peso de resíduo classificam-se como porcelanato e aquelas contendo 20% em peso classificam-se como grés porcelanato.

Palavras-chave: Cerâmica; Revestimento Cerâmico; Resíduo de quartzito.

Abstract:

Quartzite is a rock composed mainly of quartz grains. The techniques adopted for its extraction and processing result in a high generation of waste, usually discarded directly into the environment. The objective of this work is to evaluate the incorporation of quartzite residues in an industrial mass used for ceramic tiles manufacturing. Compositions with up to 20 wt.% of residues, with different particle sizes, were prepared and characterized chemically and physically. After uniaxial pressing, the pieces were sintered at 1240°C and subjected for tests of linear shrinkage, water absorption and flexural strength. The results showed that quartzite residues can be used as non-plastic raw material for ceramic tiles production. According to the standard ISO 13006, pieces with up to 15 wt.% of waste are classified as porcelain tiles and those with 20 wt.% are classified as porcelain stoneware.

Key-words: Ceramics; Ceramic tiles; quartzite residue.

1. Introdução

A contínua demanda por maiores índices de produtividade no mercado mundial tem levado ao decréscimo dos recursos naturais disponíveis e à geração de um grande volume de resíduos ou subprodutos. Neste sentido, a indústria de rochas ornamentais apresenta-se como um exemplo expressivo de produção de resíduos sólidos, os quais normalmente são dispostos em aterros ou descartados diretamente no meio ambiente [1, 2].

O descarte inadequado de resíduos oriundos da extração e beneficiamento de rochas resulta na criação de condições danosas para a flora e a fauna, além de representar riscos à saúde humana, uma vez que as finas partículas minerais podem se depositar nos pulmões, através da respiração [3].

Considerando que muitas das matérias-primas utilizadas na indústria da cerâmica tradicional derivam da decomposição de rochas, espera-se que existam semelhanças consideráveis entre as suas composições e de muitos resíduos minerais. Isto significa que resíduos provenientes da atividade extratora de rochas ornamentais apresentam-se como bons substitutos para matérias-primas utilizadas na fabricação de cerâmicas tradicionais [3 - 5]. Vários estudos [2, 5 - 13] foram realizados nos últimos anos investigando a possibilidade da incorporação de resíduos minerais em massas cerâmicas, os quais mostraram a viabilidade em função da similaridade das características químicas e mineralógicas dos mesmos.

O quartzito é uma rocha metamórfica constituída majoritariamente por grãos de quartzo e utilizado como rocha ornamental, de uso interno e externo. Placas brutas de quartzito são extraídas das pedreiras por meio de técnicas

*E-mail: karinaruizsilva@gmail.com (K. R. Silva)

artesanais, utilizando ferramentas como marretas, ponteiros e talhadeiras, após o prévio desmonte com explosivos. As placas são conduzidas até as indústrias de beneficiamento, onde passam pelo processo de esquadrejamento mecânico para que adquiram formatos de acordo com os tipos de revestimento desejado. As técnicas adotadas na extração e no beneficiamento do quartzito resultam em elevada geração de resíduos grossos, como aparas e revestimentos quebrados, e resíduos finos, como o material oriundo da etapa de esquadrejamento e serragem [14].

O resíduo de quartzito é classificado como não perigoso, sendo pertencente à Classe II A-não inerte, e apresenta em sua composição química conteúdos apreciáveis de óxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de cálcio (CaO) e óxidos alcalinos (K_2O e NaO) [3, 10].

Ao longo dos últimos anos, a utilização de resíduo de quartzito como matéria-prima na fabricação de produtos cerâmicos tem sido bastante investigada [3, 10, 15]. No entanto, pesquisas abordando a introdução deste tipo de resíduo em composições adequadas para a produção de revestimentos cerâmicos precisam ser mais exploradas.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a potencialidade de utilização de resíduos de quartzito, como matéria-prima não plástica, na composição de uma massa cerâmica industrial para fabricação de revestimento cerâmico.

2. Materiais e Métodos

As matérias-primas utilizadas foram: uma massa cerâmica industrial para fabricação de revestimentos cerâmicos, e resíduos de quartzito com diferentes granulometrias, denominados neste trabalho de “resíduo fino (RF)” e “resíduo grosso (RG)”, ambos provenientes da etapa de serragem dos blocos. A massa foi cedida por uma empresa de revestimentos cerâmicos localizada no município de Conde-PB, e os resíduos foram fornecidos por uma unidade de beneficiamento de quartzito localizada no município de Várzea-PB.

Foram avaliadas sete composições, sendo uma livre de resíduos (MP - Massa cerâmica padrão), três contendo diferentes percentuais do resíduo fino de quartzito (F10, F15 e F20) e outras três contendo diferentes percentuais do resíduo grosso de quartzito (G10, G15 e G20), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composições avaliadas.

Composição	Massa cerâmica (%)	Resíduo fino (%)	Resíduo grosso (%)
MP	100	0	0
F10	90	10	0
F15	85	15	0
F20	80	20	0
G10	90	0	10
G15	85	0	15
G20	80	0	20

Inicialmente, o resíduo grosso de quartzito passou por processo de moagem por 60 minutos em moinho de bolas Servitech, modelo CT-242, para a redução do tamanho de suas partículas. Em seguida, a massa cerâmica, o resíduo fino de quartzito e o resíduo grosso previamente moído foram classificados em peneira ABNT n° 200 (0,074 mm).

As matérias-primas foram submetidas à caracterização química, física e mineralógica, por meio das seguintes técnicas: fluorescência de raios X, utilizando um espectrômetro de fluorescência de raios X por energia dispersiva da marca Shimadzu, modelo EDX-720; análise granulométrica, utilizando um granulômetro a laser da marca Cilas, modelo 1064-LD; difração de raios X, utilizando um difratômetro de raios X da marca Shimadzu, modelo XRD-6000, equipado com um tubo de radiação $\text{CuK}\alpha$, operando num ângulo de varredura 2θ entre 5 e 40° e velocidade de varredura de 2°/min. As fases cristalinas das matérias-primas foram identificadas por meio das fichas JCPDS. Adicionalmente, a massa cerâmica passou por análise térmica diferencial e termogravimétrica, utilizando um equipamento da marca TA Instruments, modelo SDT, com razão de aquecimento de 12,5 °C/min até a temperatura de 1000°C. As misturas, realizadas em moinho Servitech, modelo CT-241, foram submetidas à análise química por fluorescência de raios X e análise granulométrica.

As massas (~6% de umidade) foram passadas por peneira ABNT n° 40 (0,425 mm) e mantidas em repouso por um período de 24 horas. O processo de prensagem uniaxial, em prensa hidráulica uniaxial da marca Marcon, modelo MPH-30, foi utilizado para conformar os corpos de prova com dimensões de 20 mm x 7 mm x 60 mm. Posteriormente, os mesmos foram secos em estufa a 110°C por 24 horas e, na sequência, submetidos ao processo de queima em forno elétrico da marca INTI. O aquecimento foi realizado a uma taxa de 49°C/minuto, até atingir a temperatura de 1240°C, a qual foi mantida por 2 minutos. O resfriamento ocorreu de forma rápida, a uma taxa de 50°C/minuto. Os parâmetros escolhidos para o ciclo de queima em escala laboratorial foram adaptados dos parâmetros da queima industrial.

Após a queima, foram analisadas as seguintes propriedades físico-mecânicas: retração linear de queima; absorção de água; e módulo de resistência à flexão, utilizando-se uma máquina universal de ensaios da marca Shimadzu, modelo AG-X, operando a uma velocidade de 0,5 mm/min.

As fases cristalinas dos corpos de prova queimados foram analisadas por difração de raios X e identificadas por meio das fichas JCPDS.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 1, encontram-se as curvas de distribuição granulométrica dos resíduos fino e grosso de quartzito. Verifica-se, para o resíduo fino, uma curva de distribuição larga, com aspecto multimodal. Os dados da análise revelam que este resíduo é composto por partículas com diâmetros que variam entre aproximadamente 0,50 e 50µm. Em relação ao resíduo grosso de quartzito, observa-se uma curva de

distribuição granulométrica mais estreita, sendo que a mesma concentra-se em uma faixa de partículas mais grossas, com diâmetros que chegam a aproximadamente 90 µm.

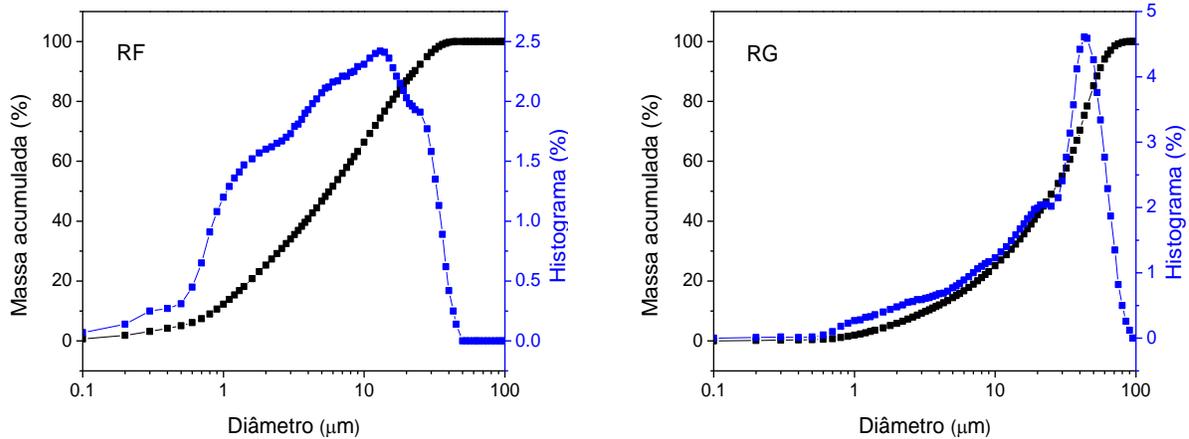


Figura 1 – Curvas de distribuição granulométrica do resíduo fino (RF) e do resíduo grosso (RG) de quartzito.

Na Tabela 2 tem-se a distribuição granulométrica dos resíduos fino e grosso de quartzito, da massa cerâmica padrão e das demais composições. São apresentados: o diâmetro médio (D_M) e os diâmetros para 10 (D_{10}), 50 (D_{50}) e 90% (D_{90}) de massa acumulada. Observa-se, para o resíduo fino, valores de D_{10} , D_{50} e D_{90} bastante inferiores aos que foram observados para o resíduo grosso. Analisando a distribuição granulométrica das composições F10, F15 e F20, verifica-se que a elevação no teor de resíduo fino incorporado à massa provocou a diminuição de D_{10} , D_{50} e D_{90} . Consequentemente, houve redução nos valores de diâmetro médio destas composições. Por outro lado, para as formulações G10, G15 e G20, observa-se que a elevação no teor de resíduo grosso resultou em diâmetros mais elevados.

(JCPDS: 89-8574), mica (JCPDS: 83-1808) e quartzo (JCPDS: 46-1045). O argilomineral caulinita é um importante componente de uma massa cerâmica, pois atua na conformação favorecendo a trabalhabilidade do material [10]. Os minerais feldspato e mica atuam como fundentes, favorecendo a formação das primeiras fases líquidas durante a queima. O quartzo, devido ao seu alto ponto de fusão, garante estabilidade térmica e atua diminuindo a retração dimensional [16, 17].

Tabela 2 - Distribuição granulométrica dos resíduos fino e grosso de quartzito, da massa cerâmica padrão e das composições contendo resíduo.

Composição	D_M (µm)	D_{10} (µm)	D_{50} (µm)	D_{90} (µm)
RF	8,92	0,86	5,65	22,72
RG	27,78	3,26	25,85	54,67
MP	12,91	1,00	7,31	35,33
F10	11,90	0,89	6,93	32,23
F15	11,70	0,87	6,70	31,92
F20	11,35	0,88	6,65	30,54
G10	12,23	0,90	7,21	32,99
G15	13,00	0,93	7,83	34,80
G20	13,50	0,94	7,98	36,58

A Figura 2 ilustra os espectros de DRX da massa cerâmica padrão e dos resíduos fino e grosso de quartzito. Analisando o espectro de DRX da massa, observa-se a presença de picos característicos das fases caulinita (JCPDS: 89-6538), dolomita (JCPDS: 89-5862), feldspato sódico

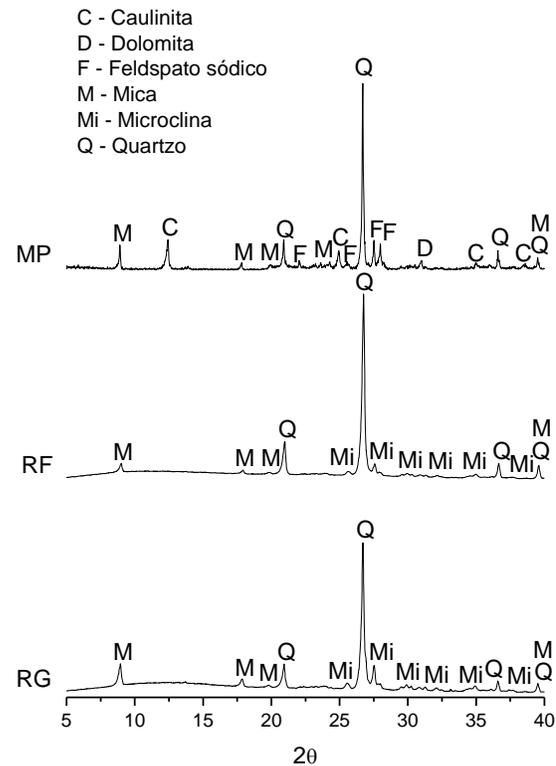


Figura 2 – Espectros de DRX da massa cerâmica padrão (MP), do resíduo fino (RF) e do resíduo grosso (RG) de quartzito.

Em relação aos resíduos, verifica-se que ambos apresentam picos característicos das fases quartzo (JCPDS: 46-1045), mica (JCPDS: 83-1808) e microclina (JCPDS: 19-0932), que trata-se de um feldspato potássico. É possível observar que as fases mineralógicas mica e microclina aparecem de forma mais intensa para o resíduo grosso, enquanto que o quartzo se apresenta de forma mais intensa para o resíduo fino. Todos os minerais que foram detectados nos resíduos de quartzito estão presentes nas matérias-primas normalmente utilizadas para a fabricação de revestimentos cerâmicos. Os resultados observados estão de acordo com Carreiro et al. [10], que estudaram a incorporação de resíduo de quartzito em massas para cerâmica estrutural.

A Tabela 3 ilustra a composição química dos resíduos fino e grosso de quartzito, da massa cerâmica padrão e das demais massas estudadas. Os dados da análise indicam a predominância da sílica em ambos os resíduos (80,28% para RF e 67,71% para RG), seguida pela alumina (11,82% para RF e 18,50% para RG). Os elevados teores de SiO_2 e Al_2O_3 são típicos de rochas ornamentais metamórficas [18]. Em menores proporções, tem-se os óxidos fundentes, normalmente presentes nos resíduos de quartzito como impurezas na forma de feldspato e mineral micáceo [18]. Verifica-se, para o resíduo grosso, um teor de K_2O que é superior ao do resíduo fino, o que explica a maior intensidade dos picos de mica e microclina que foram observados para o mesmo (Figura 2). Outros pesquisadores estudaram a incorporação de diferentes tipos de resíduos de rochas

ornamentais em massas cerâmicas e foram detectados, na análise química destes resíduos, teores de sílica, alumina e óxidos fundentes similares aos encontrados neste trabalho [3, 9, 10, 18].

A massa padrão é composta majoritariamente por sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), mas também apresenta uma quantidade considerável de óxidos fundentes (K_2O , Na_2O , CaO , MgO e Fe_2O_3). O elevado teor de SiO_2 , de 67,75%, deve-se à forte presença das fases mineralógicas caulinita, mica, feldspato e quartzo, que corresponde à sua forma natural mais pura [10]. A alumina, presente na massa em um teor de 23,82%, também é associada às fases caulinita, mica e feldspato [10]. Os óxidos de potássio (K_2O) e de sódio (Na_2O) apresentam-se em teores de 3,28% e 1,35%, respectivamente, e geralmente são provenientes dos feldspatos e micas. Quanto aos óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO), eles apresentam-se em teores de 1,48% e 1,08%, respectivamente, e podem estar associados à minerais como a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). O baixo percentual encontrado para o óxido de ferro (Fe_2O_3), de apenas 0,62%, é fundamental para a produção de cerâmica branca. Em teores superiores a 5%, este óxido pode desenvolver uma coloração avermelhada na peça durante a queima [19, 20]. Não é observada variação significativa de composição química nas massas analisadas com a adição de resíduo.

Tabela 3 – Composição química (%) dos resíduos fino e grosso de quartzito, da massa cerâmica padrão e das composições contendo resíduo.

Composição	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	CaO	Na_2O	MgO	Fe_2O_3	SO_3	Outros
RF	80,28	11,82	4,55	0,35	-	0,96	1,09	0,56	0,39
RG	67,71	18,50	7,80	1,23	-	1,78	1,96	0,35	0,67
MP	67,75	23,82	3,28	1,48	1,35	1,08	0,62	0,17	0,45
F10	69,19	22,06	3,42	1,47	1,22	1,07	0,65	0,32	0,60
F15	69,49	21,74	3,43	1,35	1,33	1,14	0,68	0,23	0,61
F20	69,78	21,08	3,59	1,33	1,34	1,16	0,73	0,35	0,64
G10	67,60	22,92	3,76	1,58	1,30	1,19	0,74	0,26	0,65
G15	67,51	22,87	4,05	1,48	1,43	1,19	0,83	0,17	0,47
G20	68,09	21,85	4,29	1,51	1,26	1,27	0,93	0,18	0,62

A Figura 3 ilustra as análises termogravimétrica (TG) e termodiferencial (DTA) da massa cerâmica padrão. Observa-se que a curva DTA exibe cinco picos endotérmicos e três discretos picos exotérmicos. Os dois primeiros picos endotérmicos ocorrem em $\sim 50^\circ\text{C}$ e $\sim 160^\circ\text{C}$, e correspondem à liberação da água livre e adsorvida, resultando em uma perda de massa de aproximadamente 1,30% em peso. O terceiro, em $\sim 512^\circ\text{C}$, é atribuído à desidroxilação dos argilominerais presentes na massa, como a caulinita, resultando em uma perda de massa de aproximadamente 5% em peso. A remoção das hidroxilas estruturais da caulinita ocorre através da reorganização das suas camadas octaédricas em uma nova

configuração tetraédrica, dando origem à metacaulinita e resultando em perda de massa [21]. O quarto pico ocorre em $\sim 576^\circ\text{C}$ e é decorrente da transformação do quartzo α em quartzo β [22 - 24]. O quinto e último pico endotérmico ocorre em $\sim 670^\circ\text{C}$ e refere-se, possivelmente, ao início da desidroxilação da mica presente na amostra [22, 24]. O pico exotérmico em $\sim 850^\circ\text{C}$ é estrutural e característico da destruição do reticulado cristalino [25]. Em relação aos outros dois discretos picos exotérmicos presentes na curva DTA, em $\sim 990^\circ\text{C}$ e $\sim 1055^\circ\text{C}$, eles estão associados à formação do espinélio Al_2Si e à nucleação da mulita [3, 21, 24].

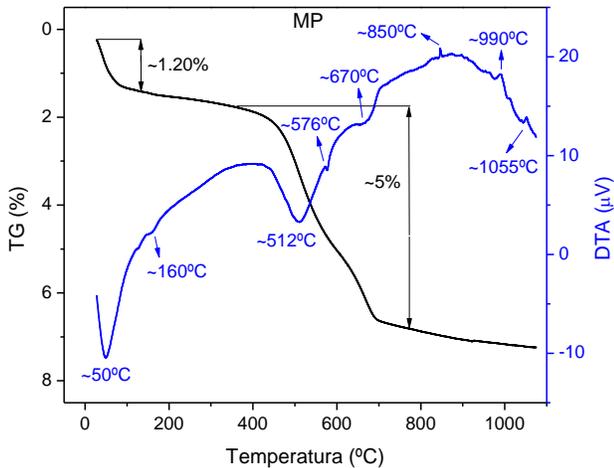


Figura 3 - Análise termogravimétrica (TG) e Análise térmica diferencial (DTA) da massa cerâmica padrão.

Na Figura 4 tem-se os resultados de retração linear de queima para as composições com resíduo fino e com resíduo grosso de quartzito. A retração linear é uma importante propriedade para o controle dimensional do produto final [20]. Verifica-se que a formulação da massa sem resíduo apresentou uma retração linear de aproximadamente 7,75%, enquanto que as peças produzidas a partir das composições com resíduo fino apresentaram valores entre 7,91 e 8,09% e aquelas produzidas a partir das massas com resíduo grosso exibiram valores entre 7,68 e 7,55%. Todos os resultados se encontram dentro dos limites recomendados para revestimentos cerâmicos [26]. A discreta variação observada nos valores de retração linear relaciona-se, possivelmente, a um efeito de empacotamento diferencial após conformação.

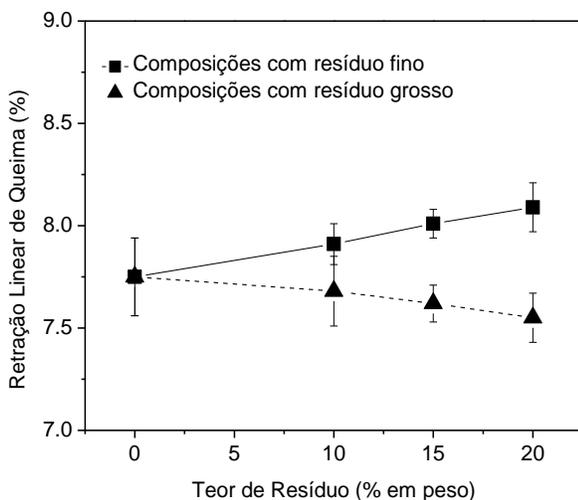


Figura 4 - Retração linear de queima (%) em função do teor de resíduo, para as composições contendo resíduos fino e grosso de quartzito.

A Figura 5 apresenta os resultados de absorção de água para as composições com resíduo fino e resíduo grosso de

quartzito. A absorção de água é uma importante propriedade física dos materiais cerâmicos, relacionada ao nível de porosidade aberta apresentada por eles [24]. Observa-se que, enquanto a cerâmica padrão apresentou uma absorção de água de aproximadamente 0,05%, as peças contendo 10 e 15% em peso de resíduo fino e grosso exibiram valores de absorção próximos de 0,35%, e aquelas contendo 20% em peso apresentaram valores médios acima de 0,50%. A incorporação dos resíduos à massa pode ter prejudicado a densificação da mesma, provavelmente por diminuir a fração de feldspato nas composições finais. Silva et al. [6] e Pazniak et al. [11] também observaram elevação nos valores de absorção de água de suas peças cerâmicas, de acordo com o aumento do teor de resíduo mineral incorporado às mesmas.

De acordo com os critérios estabelecidos pela norma internacional ISO 13006 [27], as peças cerâmicas com até 15% em peso de resíduo fino ou resíduo grosso de quartzito, queimadas a 1240°C, podem ser classificadas como porcelanato, pois apresentam absorção de água igual ou inferior a 0,50%. Segundo a mesma norma, as peças contendo 20% em peso de resíduo fino ou grosso podem ser classificadas como grés, pois apresentam valores médios de absorção entre 0,50 e 3,00%.

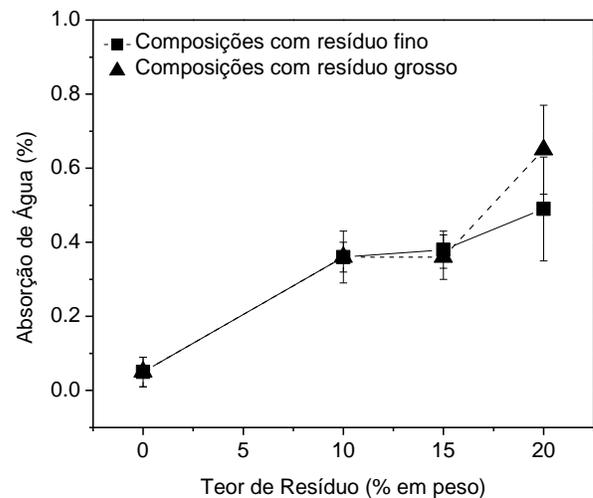


Figura 5 - Absorção de água (%) em função do teor de resíduo, para as composições contendo resíduos fino e grosso de quartzito.

Na Figura 6 tem-se os resultados de resistência à flexão para as composições com resíduo fino e com resíduo grosso de quartzito. Para as composições com resíduo fino, verifica-se que a resistência mecânica, de aproximadamente 65 MPa, se mantém praticamente constante para os teores de 0, 10 e 15% em peso. No entanto, para as peças contendo 20% em peso deste mesmo resíduo, o valor médio de resistência foi reduzido para aproximadamente 60 MPa. Em relação às composições com resíduo grosso de quartzito, observa-se um desempenho inferior: enquanto a cerâmica padrão apresenta resistência mecânica de aproximadamente 65 MPa, as peças contendo 10, 15 e 20% em peso de resíduo grosso exibem valores próximos a 52, 52 e 38 MPa, respectivamente. Isto significa que as misturas da massa cerâmica com partículas de

quartzito de granulometria mais fina produzem estruturas mais resistentes. Segundo Bragança et al. [28], o fator que exerce maior influência sobre a resistência de porcelanatos é o tamanho das partículas de quartzo presentes na microestrutura verde do material cerâmico. Elas devem ser dissolvidas pela fase líquida formada durante o processo de sinterização, até que o limite de saturação seja atingido e a dissolução venha a cessar. No entanto, a taxa de dissolução do quartzo é dependente do tamanho de suas partículas. Espera-se, portanto, que as partículas mais finas sejam dissolvidas a uma velocidade mais elevada e desapareçam mais rapidamente do que as partículas grosseiras. Stathis et al. [29] ressaltam que a presença de partículas residuais de quartzo no material queimado pode ser prejudicial à sua resistência, principalmente por conta da transformação quartzo $\alpha \rightarrow$ quartzo β durante o resfriamento.

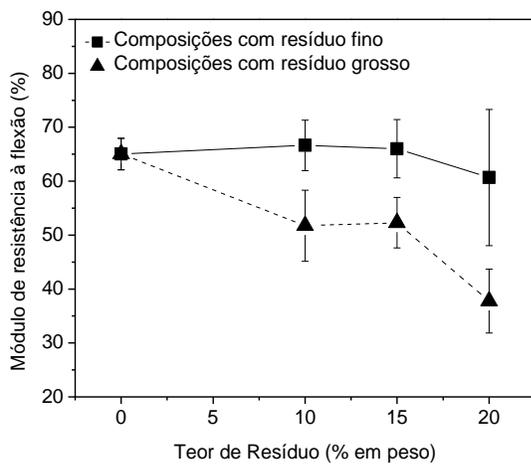


Figura 6 – Módulo de resistência à flexão (MPa) em função do teor de resíduo, para as composições contendo resíduos fino e grosso de quartzito.

A Figura 7 ilustra os espectros de DRX das peças produzidas a partir da massa cerâmica padrão e das massas contendo resíduo fino e resíduo grosso de quartzito, todas queimadas a 1240°C.

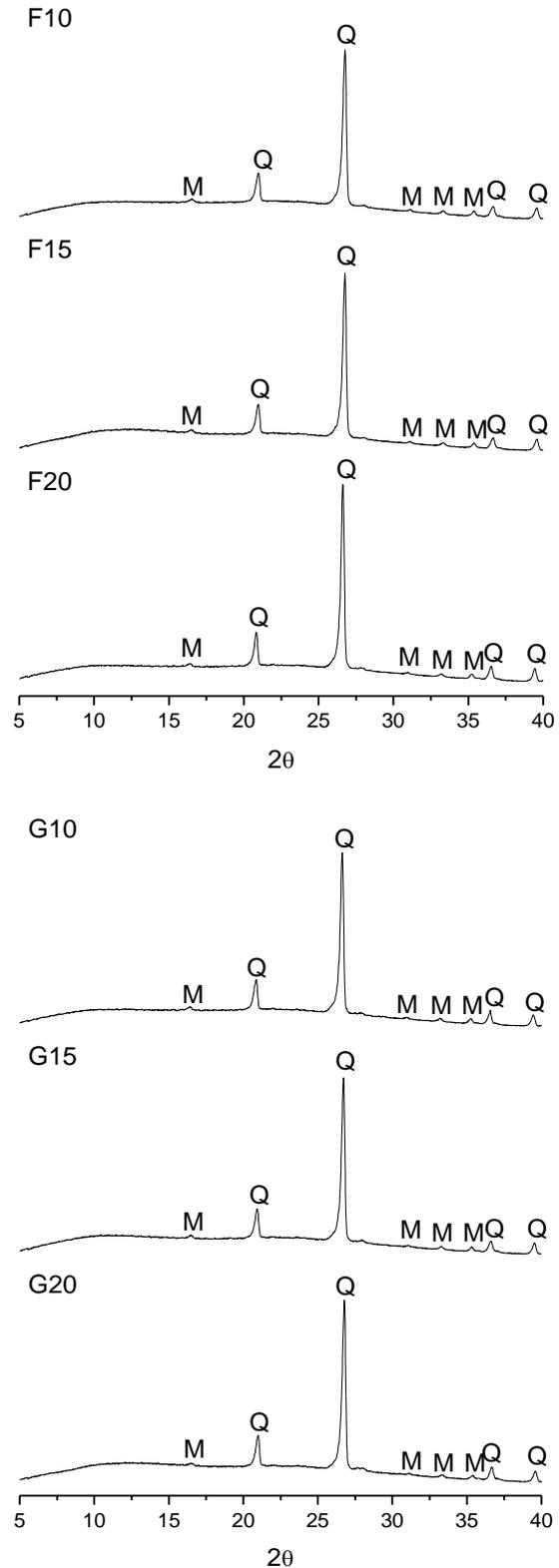
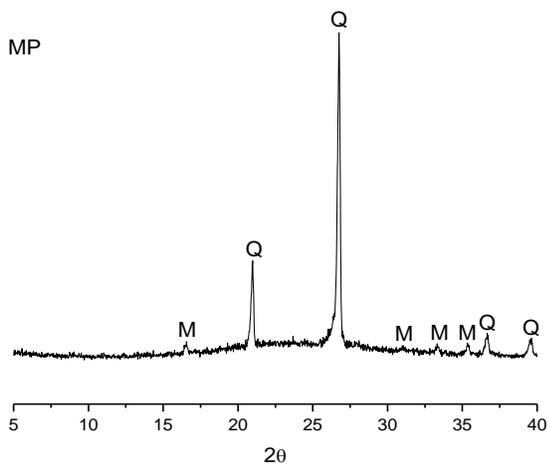


Figura VII – Espectros de DRX de peças produzidas a partir da massa cerâmica padrão (MP), e de massas contendo resíduo fino (F10, F15, F20) e resíduo grosso (G10, G15 e G20) de quartzito, todas queimadas a 1240°C.

Analisando a Figura 7, verifica-se que a peça produzida a partir da massa padrão apresenta picos característicos das fases cristalinas: mulita (JCPDS: 79-1275) e quartzo (JCPDS: 46-1045). Em relação aos espectros de DRX das peças contendo resíduos fino e grosso de quartzito, observa-se que eles exibem picos característicos das mesmas fases cristalinas que foram apresentadas para a cerâmica padrão. Isto significa que a incorporação de ambos os resíduos na massa, em teores que variaram de 10 a 20% em peso, não afetou o perfil mineralógico pós queima do material.

Conclusões

Os resíduos de quartzito apresentam propriedades químicas e mineralógicas adequadas para que os mesmos possam ser incorporados em massas cerâmicas para produção de revestimentos. A incorporação dos resíduos não interferiu significativamente nas propriedades físico-mecânicas do material. De acordo com os critérios estabelecidos pela norma internacional ISO 13006, os corpos cerâmicos com até 15% em peso de resíduo de quartzito, fino ou grosso, classificam-se como porcelanato e aqueles com 20% em peso classificam-se como grés porcelanato. De um modo geral, os resultados experimentais mostraram que resíduos de quartzito podem ser utilizados como matéria-prima não plástica na produção de revestimentos cerâmicos, como porcelanato e grés porcelanato.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo apoio financeiro recebido da CAPES e do CNPq (447881/2014-0 e 308912/2016-0), Brasil.

Referências

- [1] Raupp-Pereira, F., Hotza, D., Segadães, A. M., Labrincha, J. A., Ceramic formulations prepared with industrial wastes and natural sub-products. *Ceramics International*, 32, 173-179, 2006.
- [2] Souza, A. J., Pinheiro, B. C. A., Holanda, J. N. F., Processing of floor tiles bearing ornamental rock-cutting waste. *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 1898-1904, 2010.
- [3] Torres, P., Manjate, R. S., Quaresma, S., Fernandes, H. R., Ferreira, J. M. F., Development of ceramic floor tile compositions based on quartzite and granite sludges. *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 4649-4655, 2007.
- [4] Torres, P., Fernandes, H. R., Agathopoulos, S., Tulyaganov, D. U., Ferreira, J. M. F., Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 3177-3185, 2004.
- [5] Junkes, J. A., Prates, P. B., Hotza, D., Segadães, A. M., Combining mineral clay-based wastes to produce porcelain-like ceramics: An exploratory study. *Applied Clay Science*, 69, 50-57, 2012.
- [6] Silva, M. A., Paes Jr., H. R., Holanda, J. N. F., Reuse of ornamental rock-cutting waste in aluminous porcelain. *Journal of Environmental Management*, 92, 936-940, 2011.
- [7] El-Maghraby, H. F., El-Omla, M. M., Bondioli, F., Naga, S. M., Granite as flux in stoneware tile manufacturing. *Journal of the European Ceramic Society*, 31, 2057-2063, 2011.
- [8] Hojamberdiev, M., Eminov, A., Xu, Y., Utilization of muscovite granite waste in the manufacture of ceramic tiles. *Ceramics International*, 37, 871-876, 2011.
- [9] Taguchi, S. P., Santos, J. C., Gomes, T. M., Cunha, N. A., Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. *Cerâmica*, 60, 291-296, 2014.
- [10] Carreiro, M. E. A., Santos, R. C., Silva, V. J., Lira, H. L., Neves, G. A., Menezes, R. R., Santana, L. N. L., Resíduo de quartzito – matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural. *Cerâmica*, 62, 170-178, 2016.
- [11] Pazniak, A., Barantseva, S., Kuzmenkova, O., Kuznetsov, D., Effect of granitic rock wastes and basalt on microstructure and properties of porcelain stoneware. *Materials Letters*, 225, 122-125, 2018.
- [12] Lu, J., Li, Y., Zou, C., Liu, Z., Wang, C., Effect of sintering additives on the densification, crystallization and flexural strength of sintered glass-ceramics from waste granite powder. *Materials Chemistry and Physics*, 216, 1-7, 2018.
- [13] Vijayaragavan, R., Mullainathan, S., Ambalavanan, P., Nithiyantham, S., Physico-mechanical investigations on mineralogical clay-based ceramic bodies with rock residue. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 30, 188-194, 2018.
- [14] Vidal, F. W. H., Campos, A. R., Correia, J. C. G., *Série Tecnologia Mineral - Quartzito de Várzea do Seridó: Tecnologia de lavra e beneficiamento*. CETEM, 2015. ISBN – 9788582610411.
- [15] Medeiros, P. S. S., Santana, L., Silva, V., Neves, G. A., Lira, H. L., Evaluation of the potential of using quartzite residue in mass for the production of sanitary ware. *Materials Science Forum*, 869, 181-185, 2016.
- [16] Sánchez, E., Garcia-Ten, J., Sanz, V., Moreno, A., Porcelain tile: Almost 30 years of steady scientific-technological evolution. *Ceramics International*, 36, 831-845, 2010.
- [17] Tarhan, B., Tarhan, M., Aydin, T., Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production. *Ceramics International*, 43, 3107-3112, 2017.
- [18] Moreira, J. M. S., Manhães, J. P. V. T., Holanda, J. N. F., Processing of red ceramic using ornamental rock powder waste. *Journal of Materials Processing*

Technology, 196, 88-93, 2008.

- [19] Torres, P., Fernandes, H. R., Olhero, S., Ferreira, J. M. F., Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 23-30, 2009.
- [20] Murray, H. H., *Applied clay mineralogy - Developments in Clay Science 2*. Elsevier, 2007. ISBN: 9780444517012.
- [21] Da Silva, V. J., Da Silva, M. F., Gonçalves, W. P., De Menezes, R. R., Neves, G. A., Lira, H. L., Santana, L. N. L., Porous mullite blocks with compositions containing kaolin and alumina waste. *Ceramics International*, 42, 15471-15478, 2016.
- [22] Menezes, R. R., De Almeida, R. R., Santana, L. N. L., Neves, G. A., Lira, H. L., Ferreira, H. C., Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. *Cerâmica*, 53, 192-199, 2007.
- [23] Xavier, G. C., Saboya, F., Maia, P. C. A., Alexandre, J., Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. *Cerâmica*, 55, 1-10, 2009.
- [24] Ke, S., Wang, Y., Pan, Z., Ning, C., Zheng, S., Recycling of polished tile waste as a main raw material in porcelain tiles. *Journal of Cleaner Production*, 115, 238-244, 2016.
- [25] Silva, A. A., Valenzuela-Diaz, F. R., Martins, G. S. V., Rodrigues, M. G. F., Preparação de argilas organofílicas usando diferentes concentrações de sal quaternário de amônio. *Cerâmica*, 53, 417-422, 2007.
- [26] Pinheiro, B. C. A., Holanda, J. N. F., Obtainment of porcelain floor tiles added with petroleum oily sludge. *Ceramics International*, 39, 57-63, 2013.
- [27] ISO, International Standard ISO 13006, Ceramic tiles – Definition, classification, characteristics and marking, 1998.
- [28] Bragança, S. R., Bergmann, C. P., Hubner, H., Effect of quartz particle size on the strength of triaxial porcelain. *Journal of the European Ceramic Society*, 26, 3761-3768, 2006.
- [29] Stathis, G., Ekonomakou, A., Stournaras, C. J., Ftikos, C., Effect of firing conditions, filler grain size and quartz content on bending strength and physical properties of sanitaryware porcelain. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 2357-2366, 2004.