CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE CERÂMICAS OBTIDAS COM ARGILAS CAULINÍTICAS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO EM MISTURAS COM ADITIVOS SEM VALOR ECONÔMICO

PERALTA-SÁNCHEZ, M.G.[1], MORALES-CARRERA, A.M.[2], VARAJÃO, A.F.D.C.[3]
[1]Coordenação de Mineração. Departamento de Áreas Acadêmicas II. Instituto Federal Goiás. Universidade Federal de Ouro Preto. peraltage@gmail.com
[2]Coordenação de Mineração. Departamento de Áreas Acadêmicas II. Instituto Federal Goiás. anamc73@gmail.com
[3]Deparatmento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto. angelicavarajao@gmail.com

RESUMO

Um estudo prévio sobre cinco ocorrências de argilas cauliníticas do Quadrilátero Ferrífero apontou a necessidade de uso de aditivos para melhorar suas características tecnológicas, visando seu aproveitamento em cerâmica estrutural. Portanto, nesse trabalho foi realizada a caracterização tecnológica de produtos cerâmicos fabricados a partir de 50 misturas dessas cinco argilas (ACM, DB, R5, FS e AM) com os aditivos filito (F) do embasamento das argilas, rejeitos de quartzito (Q) da fabricação de placas de revestimento e, resíduos de esteatito (E) da indústria de panelas de pedra sabão da região. As misturas foram feitas com cada uma das argilas e com os aditivos em proporções entre 5, 10, 15, 25, 30 e 50 %. Com essas misturas, contendo umidade de 8 %, corpos prismáticos foram conformados por prensagem e queimados a 900 e a 1.100°C. Os corpos cerâmicos foram caracterizados mineralogicamente e submetidos a ensaios tecnológicos. Os resultados apontaram que, de maneira geral, os corpos queimados a 1.100°C podem ser aplicados como materiais de construção. Dessa maneira avigora-se a possibilidade do aproveitamento desses recursos minerais com baixo valor econômico atual, inclusive, o encaminhamento ambientalmente correto de rejeitos e resíduos minero-artesanal da região, considerado como poluidores ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: argilas cauliníticas; Quadrilátero Ferrífero; cerâmica; filito; quartzito; esteatito.

ABSTRACT

A previous study on five deposits of kaolinite clays from Quadrilátero Ferrífero pointed out the need to use additives to improve their technological characteristics for use in structural ceramics. Therefore, this work performed technological characterization of ceramics products from 50 mixtures of these five clays (ACM, DB, R5, FS and AM) with additives phyllite (F) from the basement of the clay deposits, quartzite (Q) tailings from the manufacture of flooring boards and steatite (E) waste from the pot industry. The mixtures were made with each of clays and additives in proportions 5, 10, 15, 25, 30 and 50%. With these mixtures, containing 8 % of moisture, prismatic bodies were shaped by pressing, dried and burned at 900 and 1,100 ° C. The ceramic samples were mineralogically characterized and technological tested. The results showed that, the bodies burned at 1,100 ° C can be used as building materials. Thus, this work invigorates the possibility of exploitation of these mineral resources, which currently have low or no economic value, including the environmentally correct routing of tailings and waste from mining and craft activities of the region, considered as environmental polluters.

KEYWORDS: kaolinitic clays; Quadrilátero Ferrífero; ceramics; phyllite; quartzite; steatite.

1. INTRODUÇÃO

Vários tipos de rochas e minerais industriais como argilas cauliníticas, filito, esteatito e quartzito, que atualmente não possuem interesse industrial e inclusive, no caso dos dois últimos, representam fontes de poluição ambiental, ocorrem no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais (Figura 1).

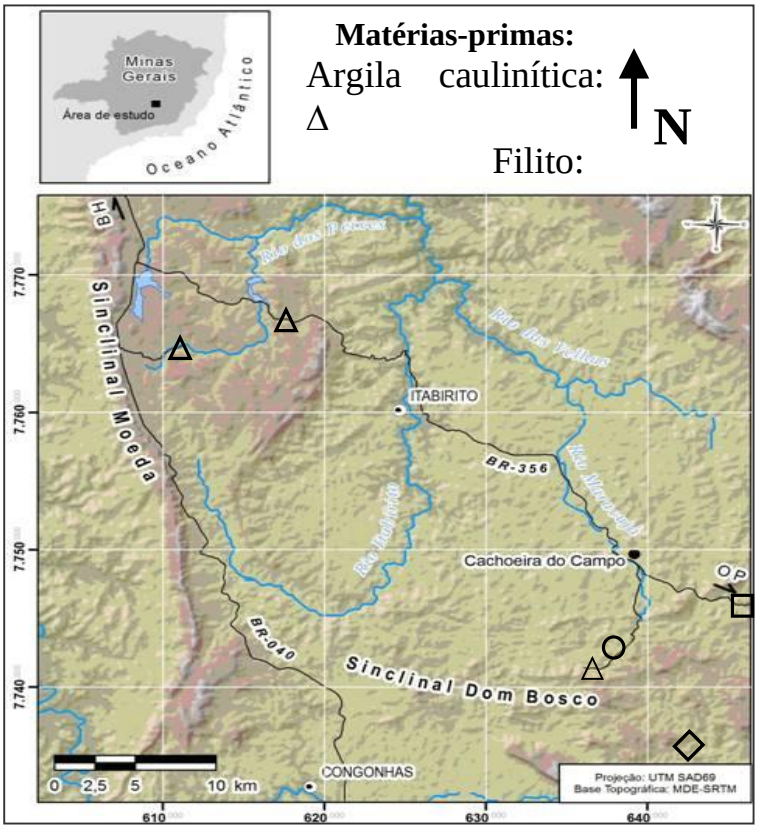

Figura 1. Localização das ocorrências das matérias-primas oriundas da região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, que foram utilizadas na confecção de corpos cerâmicos (Adaptado de Ferreira *et. al.*, 2004).

Neste sentido, tendo em vista que os estudos de caracterização mineralógica, química, física e tecnológica dos corpos cerâmicos obtidos com as argilas cauliníticas do Quadrilátero Ferrífero (PERALTA-SÁNCHEZ, *et al*., 2011, MORALES-CARRERA, *et al.*, 2010) mostraram que cinco dessas argilas não apresentaram resultados satisfatórios para a sua aplicação direta na indústria cerâmica, objetivou-se neste trabalho o uso de aditivos para melhorar este resultados.

Na pesquisa atual as cinco argilas cauliníticas foram utilizadas como principal matéria-prima para a obtenção de massas cerâmicas misturadas com diferentes proporções dos três abundantes aditivos do Quadrilátero Ferrífero: filitos do embasamento dessas argilas, resíduos de esteatito e de quartzito provenientes da fabricação artesanal de panelas e placas de revestimento, respectivamente, e que atualmente podem ser consideradas como fontes de poluição ambiental.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

As matérias-primas para a fabricação de tijolos foram cinco amostras de argilas cauliníticas e três aditivos, da região do Quadrilátero Ferrífero. As argilas formam parte de duas fácies do depósito de Padre Domingos no sinclinal Moeda (SANTOS, 2003), previamente definidas como arenito coesivo

maciço (ACM) e diamictito branco (DB); uma amostra de um talude (R5) da rodovia BR-356; e duas fácies do depósito Morro do Caxambu no sinclinal Dom Bosco, que foram previamente definidas como argilosa maciça (AM) e argilosa friável (FS) (SANTOS, 1998, SANTOS, *et al.* 1999). Os aditivos foram filito (F) localizado no embasamento dos depósitos de argilas; quartzito (Q) coletado dos rejeitos do corte de placas para revestimento e esteatito (E) coletado dos resíduos produzidos da fabricação artesanal de panelas.

2.2. Métodos

Cada amostra coletada foi secada em uma estufa da marca FABBE a uma temperatura aproximada de 60 ºC, em seguida foram destorroadas, homogeneizadas, quarteadas e peneiradas a 0,425 mm (35#). Alíquotas, para as diferentes análises laboratoriais e ensaios tecnológicos, foram retiradas do passante da peneira.

A umidade de matérias-primas foi determinada previamente à preparação das misturas, com o auxílio de uma balança ID200 da Marte.

A mineralogia de cada matéria-prima natural e de cada corpo cerâmico obtido foi analisada através de difratogramas de raios X, em preparações não orientadas, utilizando um difratômetro de marca RIGAKU GEIGERFLEX D/MAX-B (com radiação monocromática CuKα), com faixa angular entre 2 e 70 º e velocidade de leitura de 1,2 °/min.

As cores apresentadas pelas amostras naturais foram determinadas comparando-as com os padrões da escala de MUNSELL (1975).

Análises químicas dos elementos maiores e menores das matérias-primas foram feitas utilizando o equipamento de fluorescência de raios-X da Philips - PANalytical, modelo MagiX com amostrador automático PW 2540, equipado com tubo de ródio a 2,4 kW.

Foram preparadas 50 misturas, adicionando-se a cada amostra de argila ACM, DB, R5, FS e AM proporções de 5, 10, 15, 25, 30 e 50 % dos aditivos F e Q. Em outras misturas foram adicionadas proporções de 10 % de E. Essas misturas foram denominadas de acordo com o nome da amostra e o teor de aditivo, assim:

– ACM+10F, ACM+30F, ACM+50F, ACM+10Q, ACM+30Q, ACM+50Q, ACM+5F+5Q, ACM+15F+15Q, ACM+25F+25Q, ACM+10F+10E+30Q;

– DB+10F, DB+30F, DB+50F, DB+10Q, DB+30Q, DB+50Q, DB+5F+5Q, DB+15F+15Q, DB+25F+25Q, DB+10F+10E+30Q;

– R5+10F, R5+30F, R5+50F, R5+10Q, R5+30Q, R5+50Q, R5+5F+5Q, R5+15F+15Q, R5+25F+25Q, R5+10F+10E+30Q;

– AM+10F, AM+30F, AM+50F, AM+10Q, AM+30Q, AM+50Q, AM+5F+5Q, AM+15F+15Q, AM+25F+25Q, AM+10F+10E+30Q;

– FS+10F, FS+30F, FS+50F, FS+10Q, FS+30Q, FS+50Q, FS+5F+5Q, FS+15F+15Q, FS+25F+25Q, FS+10F+10E+30Q.

A umidade de cada mistura foi ajustada até atingir 8%, utilizando a mesma balança da Marte. Seguidamente, cada mistura foi depositada em um molde de aço e, com auxílio de uma prensa

hidráulica da ALFRED JAMSLER & Co e aplicando uma pressão de 5 t, foram confeccionados corpos de prova retangulares de dimensão aproximada de 7,0 cm x 2,0 cm x 1,5 cm.

Os corpos de prova obtidos foram secados a temperatura ambiente durante 24 horas e em seguida, queimados a 900 e 1.100°C utilizando, respectivamente, quatro e cinco patamares de aquecimento. Esses patamares e o tempo de aquecimento foram: 110 °C durante 6 horas, 450 °C durante 2 horas, a 700 °C durante 2 horas e a 900 °C durante 3 horas. Outros corpos cerâmicos foram queimados com os mesmos patamares, adicionando um último patamar a 1.100 °C durante 3 horas.

Os corpos cerâmicos (corpos de prova queimados) foram submetidos a três tipos de ensaios tecnológicos:

– Retração Linear: medindo as dimensões dos corpos de prova (antes da queima) e dos corpos cerâmicos (após a queima) para verificar as variações que ocorreram.

– Absorção de água: de acordo com a norma NBR 8947 (ABNT, 1985), as massas dos corpos cerâmicos antes e após fervê-los em uma panela com água por duas horas, utilizando a mesma balança ID200 da Marte.

– Resistência à compressão: de acordo com a norma NBR 6460 (ABNT,1984), os corpos de prova foram submetidos a ensaios mecânicos de resistência à compressão, utilizando a mesma prensa hidráulica da ALFRED JAMSLER & Co, aumentando lentamente a pressão até o rompimento do corpo. Os ensaios foram realizados aplicando a pressão na maior dimensão dos corpos cerâmicos, de aproximadamente 7 cm.

3. RESULTADOS

A umidade das amostras antes de serem misturadas (Tabela I) permitiu ter uma idéia inicial dos volumes de água a adicionar na preparação das misturas. De uma maneira geral, a umidade das matérias-primas prontas para a preparação das misturas é baixa, entretanto as argilas apresentam umidade média de 1,3 % que é maior do que a umidade dos aditivos, 0,4 % para F e E, e 0,1 % para o Q. Dessa maneira, em geral a umidade das misturas foi inferior a 1 %.

Tabela I. Valores da umidade das amostras prévias às misturas

Amostra	Umidade (%)
Depósito Padre Domingos	
ACM	1,7
DB	1,3
Depósito da Rodovia-356	
R5	1,1
Depósito Morro do Caxambu	
AM	1,1
FS	1,3
Aditivos	
F	0,4
Q	0,1
E	0,4

A mineralogia das matérias-primas argila (ACM), filito, quartzito e esteatito e dos corpos cerâmicos obtidos após queima a 1.100° C (A e B) é apresentada na Figura 2. Na amostra ACM pode-se identificar caulinita (K), mica (M), feldspato (Fd), hematita (H) e quartzo (Qz). Essa mineralogia é,

em geral, similar em todas as amostras de argilas. Nos aditivos foram identificados, no filito (F) mica e caulinita; no quartzito (Q), quartzo; e no esteatito (E) talco (Tc) e clorita (Cl). A mineralogia das misturas aquecidas a 1.100° C (Figura 1B) mostrou a presença de quartzo, mulita (Mu) e rutilo (Ru).

A formação de mulita a temperaturas menores aos 1.200 °C pode ser atribuída à presença de minerais fundentes (CARNEIRO *et al.* 2003).

As cores apresentadas pelas amostras naturais, de acordo com MUNSELL (1975), são: branco para ACM (5YR-8/1) e DB (5YR-8/1), vermelho amarelado (5YR-5/6) para FS, amarelo (10YR-8/6) para R5 e vermelho para AM (2.5YR-4/6).

A composição química (Tabela II) das amostras compostas indica a relação SiO_2/Al_2O_3 próxima de 1. A composição química das argilas cauliníticas reflete a coloração avermelhada apresentada pelas amostras do depósito Morro do Caxambu, pois seu conteúdo em Fe_2O_3 varia em torno de 17,5 %, enquanto que as amostras de cor branca possuem menores proporções de Fe_2O_3 com valores próximos a 2 %.

A retração linear (Tabela III) é muito baixa, atingindo um máximo de 0,5 % no corpo cerâmico fabricado com a mistura AM+5F+5Q e queimado a 1.100 ºC. Para os corpos cerâmicos queimados a 900 ºC, na maior parte dos casos resultaram em valores negativos, que estariam relacionados com expansão após queima.

A absorção de água (Tabela III) atingiu um máximo de 10,5 % no corpo cerâmico fabricado com a mistura R5+50F e queimado a 900 ºC e de 9,18 % no corpo feito com a mistura R5+50F após queima a 1.100 ºC.

A resistência à compressão foi muito alta (Tabela III), atingindo valores máximos para os corpos queimados a 1100 ºC, como de 101,04 MPa para o corpo DB+10Q e 69,25 MPa para o corpo DB+10F. Valores elevados também foram observados nos corpos queimados a 900 ºC, de 63,03 MPa para o corpo DB+10F+10E+30Q e 61,35 MPa para DB+10F.

4. CONCLUSÕES

O resultado do estudo mineralógico, físico, químico e comportamento mecânico das matérias-primas e dos corpos cerâmicos obtidos com misturas das matérias-primas da região do Quadrilátero Ferrífero, mostrou que:

- A cor dos corpos cerâmicos em relação às argilas naturais praticamente não mudou.
- Os argilominerais das amostras naturais são destruídos dando lugar, em geral, à formação de mulita, que é uma espécie mineral comum nos produtos refratários cerâmicos e que lhe conferem resistência mecânica.
- Os copos cerâmicos apresentam características interessantes para a indústria cerâmica, principalmente na sua resistência à compressão, atingindo valores muito maiores do que o mínimo requerido, que segundo a literatura é de 1 MPa.

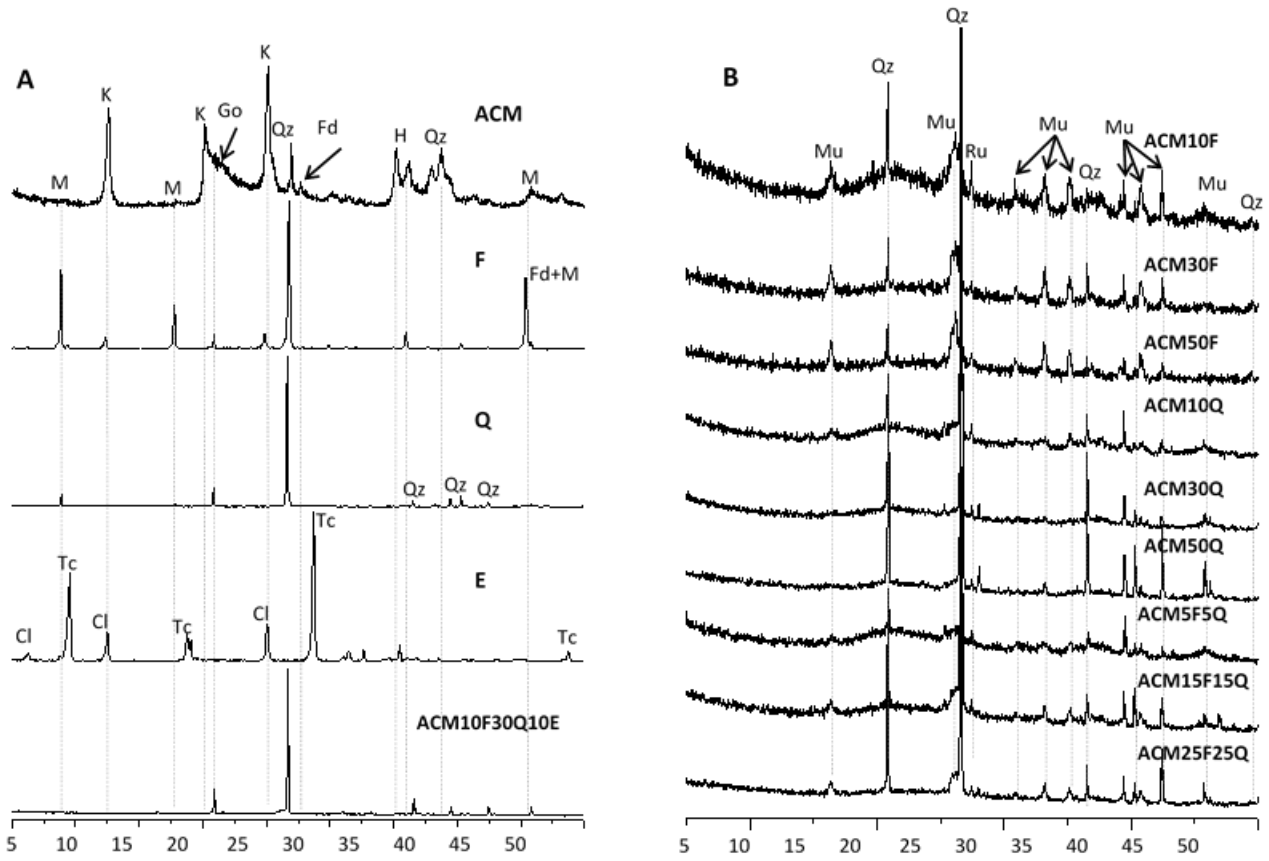

Figura 2. Difratogramas representativos das matérias primas naturais (argila e aditivos) e dos dez corpos cerâmicos obtidos após a queima a 1.100° C dos corpos feitos com as misturas dessas matérias primas em diferentes proporções. ACM - Argila, F - filito, Q - quartzito, E - esteatito. Qz: quartzo, K: caulinita, M: mica, H: hematita, Fd: feldspato, Go: goetita, Cl: clorita, Tc: talco, Mu: mulita, Ru: rutilo.

Tabela II. Composição química das matérias-primas naturais

Amostra	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	MgO (%)	P_2O_5 (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	PF (%)
	Depósito Padre Domingos										
ACM	45,71	34,63	2,04	1,87	1,97	0,52	0,133	0,006	0,05	<0,001	12,56
DB	46,38	35,20	1,58	1,34	1,72	0,33	0,065	0,003	0,03	0,014	12,53
Depósito da rodovia BR-356											
R5	43,14	34,69	5,37	0,54	2,02	0,04	0,083	0,017	0,05	0,013	13,27
Depósito Morro do Caxambu											
FS	40,22	27,16	17,76	0,96	1,80	0,13	0,063	0,011	0,03	0,043	10,90
AM	37,5	29,70	17,08	0,86	2,22	0,26	0,088	0,116	0,04	<0,001	11,46
Aditivos											
F	50,33	26,29	8,91	7,92	1,02	0,63	0,050	0,004	0,05	0,334	4,11
Q	86,70	4,30	3,70	0,16	1,02	0,07	0,070	0,001	0,06	0,030	3,81
E	45,58	4,53	7,11	0,01	0,10	27,35	0,020	0,130	2,61	0,040	10,94

Tabela III. Valores da retração linear, absorção de água e resistência à compressão dos corpos cerâmicos.

Amostra	Retração Linear (%)		Absorção de água (%)		Resistência à compressão (MPa)	
	1.100 ºC	900 ºC	1.100 ºC	900 ºC	1.100 ºC	900 ºC
Depósito Padre Domingos						
ACM+10F	0,40	0,04	4,99	8,04	52,93	38,50
ACM+30F	0,23	-0,05	5,91	8,61	31,96	29,69
ACM+50F	0,13	-0,10	6,77	8,57	23,68	31,16
ACM+10Q	0,35	0,09	5,63	7,90	58,57	57,98
ACM+30Q	0,09	0,01	6,45	6,83	51,36	42,84
ACM+50Q	0,01	-0,01	6,19	6,23	38,96	27,76
ACM+5F+5Q	0,29	0,06	6,26	7,91	62,92	39,93
ACM+15F+15Q	0,19	-0,02	6,31	7,72	36,92	30,62
ACM+25F+25Q	0,06	-0,06	5,95	7,10	31,00	34,00
ACM+10F+10E+30Q	0,07	-0,04	5,99	6,39	31,30	39,38
DB+10F	0,25	0,03	5,56	7,77	69,25	61,35
DB+30F	0,18	-0,07	5,74	7,95	4,16	44,33
DB+50F	0,11	-0,11	5,85	8,17	50,33	33,29
DB+10Q	0,27	0,09	5,41	6,55	101,04	52,21
DB+30Q	0,10	0,02	5,76	6,21	39,73	32,63
DB+50Q	0,00	-0,02	5,35	5,47	66,68	30,84
DB+5F+5Q	0,24	0,04	5,68	7,19	77,48	51,83
DB+15F+15Q	0,13	-0,01	5,61	6,85	63,63	53,65
DB+25F+25Q	0,09	-0,07	5,35	6,35	61,37	46,88
DB+10F+10E+30Q	0,08	-0,02	5,02	5,83	61,22	63,03
Depósito da Rodovia-356						
R5+10F	0,19	0,05	8,94	9,66	48,42	28,31
R5+30F	0,10	-0,06	8,93	10,28	35,56	24,68
R5+50F	0,03	-0,10	9,18	10,49	28,56	22,78
R5+10Q	0,21	0,53	8,64	9,30	54,77	31,49
R5+30Q	0,09	0,02	7,97	8,04	32,24	31,39
R5+50Q	0,00	-0,01	7,25	6,72	35,59	30,72
R5+5F+5Q	0,21	0,06	8,93	9,68	47,45	28,86
R5+15F+15Q	0,11	-0,02	8,51	8,85	42,39	25,35
R5+25F+25Q	0,03	-0,08	7,73	8,16	34,47	23,96
R5+10F+10E+30Q	0,04	-0,03	7,45	7,52	41,04	27,67
Depósito Morro do Caxambu						
AM+10F	0,54	0,06	4,46	8,85	39,06	33,47
AM+30F	0,27	-0,02	6,60	8,89	9,90	23,75
AM+50F	0,14	-0,11	7,82	9,43	17,68	21,92
AM+10Q	0,39	0,05	4,81	7,62	45,70	46,74
AM+30Q	0,18	-0,07	6,35	8,02	22,87	16,41
AM+50Q	0,03	-0,02	6,13	6,60	12,52	33,35
AM+5F+5Q	0,51	0,06	4,39	8,30	43,52	33,69
AM+15F+15Q	0,26	-0,04	5,77	7,73	19,62	29,72
AM+25F+25Q	0,11	-0,09	6,40	8,05	18,76	25,26
AM+10F+10E+30Q	0,09	-0,03	5,58	6,52	22,86	39,44
FS+10F	0,33	0,03	6,56	9,21	47,85	36,74
FS+30F	0,15	-0,06	7,73	9,38	28,57	29,59
FS+50F	0,00	-0,09	8,87	9,62	22,61	27,60
FS+10Q	0,22	0,06	7,89	8,73	60,62	37,48
FS+30Q	0,08	0,01	7,48	7,50	59,62	33,69
FS+50Q	0,00	-0,02	6,99	6,84	44,45	32,51
FS+5F+5Q	0,58	0,07	5,33	8,91	50,10	35,82
FS+15F+15Q	0,28	-0,02	5,99	8,31	25,51	35,08
FS+25F+25Q	0,14	-0,07	5,86	7,37	16,34	36,65
FS+10F+10E+30Q	0,13	-0,03	6,19	7,09	17,29	39,08

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a contribuição financeira da FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais- PPM-00131-10) e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Projeto nº 5501712010-0) e, a colaboração técnica dos laboratórios de: Materiais Cerâmicos, Difração de Raios-X e Fluorescência de Raios-X, do Departamento de Geologia; BET e de Tratamento de Minérios do Departamento de Minas; e de Ensaios Mecânicos do Departamento de Metalurgia da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

6. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6460, "Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão - Método de ensaio", Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8947, "Telha cerâmica - Determinação da massa e da absorção de água", Rio de Janeiro, RJ, 1985.

CARNEIRO, B.S., ANGÉLICA, R.S., SCHELLER, T., DE CASTRO, E.A.S., NEVES, R.F. Caracterização mineralógica e geoquímica e estudo das transformações de fase do caulim duro da região do Rio Capim, Pará. Cerâmica, v. 49, p. 237-244, 2003.

FERREIRA, M.M., VARAJÃO, A.F.D.C., MORALES-CARRERA, A.M., PERALTA-SÁNCHEZ, M.G., DA COSTA, G.M. Transformações mineralógicas e cristaloquímicas decorrentes dos ensaios termais em argilas cauliníticas ferruginosas. Cerâmica, v. 58, n. 345, p. 105-110, São Paulo, 2012.

MORALES-CARRERA, A.M., PERALTA-SÁNCHEZ, M.G., VARAJÃO, A.F.D. C., FERREIRA, M.M. Aproveitamento de argilas cauliníticas naturais e com aditivos do Quadrilátero Ferrífero na obtenção de materiais cerâmicos. Em: Berrezueta, E. y Dominguez-Cuesta, M. J. (Ed.), Técnicas Aplicadas a la Caracterización y Aprovechamiento de Recursos Geológicos-Mineros, p. 160-169, Oviedo, España, 2010.

MUNSELL SOIL COLOR COMPANY. Munsell Soil Color Charts, U.S. Depart. Agriculture, Baltimore, 1975.

PERALTA-SÁNCHEZ M.G., MORALES-CARRERA A. M., VARAJÃO, A.F.D.C., FERREIRA M.M. Viabilidade do uso de argilas cauliníticas do Quadrilátero Ferrífero para a indústria cerâmica. Cerâmica, v. 57, n. 343 , p. 254-262, São Paulo, 2011.

SANTOS, M.C. Caracterização dos depósitos argilosos da porção centro-sul do Sinclinal Moeda, Quadrilátero Ferrífero, MG: macromorfologia, micromorfologia, cristaloquímica, gênese e considerações industriais. Departamento de Geologia-Escola de Minas-UFOP, Ouro Preto, Tese de Doutorado, 199p., 2003.

SANTOS, M.D.C. Gênese dos corpos argilosos do Morro do Caxambu e da Mina do Vermelhão, Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Departamento de Geologia-UFOP, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 176p., 1998.

SANTOS, M.D.C., VARAJÃO A.F.D., CASTRO, P.T.A. MOREIRA, A.P.A. Gênese dos "depósitos argilosos" da Mina do Vermelhão e do Morro do Caxambu, Sinclinal Dom Bosco, M.G. In: SBG/Núcleo Brasília, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste e Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Resumos Expandidos, p 40., 1999.