

Avaliação da incorporação de resíduo de gemas na massa cerâmica vermelha - um estudo de caso)

(Evaluation of gems sludge incorporation in red ceramic - a case study)

M. Weizenmann¹, F. R. Bruxel¹, E. R. R. de Santana^{1,2}, E. C. Oliveira²

¹Univates - Centro Universitário, R. Avelino Tallini 171, Lajeado, RS

²FEPAM-Fundação Estadual de Proteção Ambiental, Avenida J. Pessoa, 99, Centro, Santa Cruz do Sul, RS

Resumo

Ao longo dos últimos anos algumas preocupações ambientais tem se ressaltado, é o caso da contínua utilização de recursos naturais não renováveis bem como a geração de resíduos dos mais diversos segmentos. Felizmente, há possibilidade de empregar resíduos, por exemplo, como aditivos na indústria cerâmica. O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica da incorporação do resíduo de corte de gemas na fabricação de tijolos, comparando a outro trabalho desenvolvido no mesmo município. Foram produzidos cento e cinquenta corpos de prova com as concentrações de 0%, 2%, 6%, 10% e 14% (m/m) de resíduo na argila. Os resultados obtidos após os testes de absorção de água, massa específica aparente e resistência à compressão revelaram que é possível a utilização de até 2% do resíduo do corte de gemas junto à massa argilosa.

Palavras-chave: resíduo, lodo de gemas e cerâmica vermelha.

Abstract

Over the last few years there is a growing concern about the use of nonrenewable natural resources as well as with the generation of wastes from different sectors. Fortunately, it's possible to reuse wastes, for instance, as additives in ceramic industry. The objective of this study is to evaluate the technical feasibility of incorporating the cutting gems waste in the manufacture of bricks, comparing to other work in the same county. One hundred fifty specimens were produced with 0%, 2%, 6%, 10% and 14% waste added to the ceramic mass. The results obtained after testing water absorption, homogeneity, density and compression strength revealed that it is possible to incorporate up to 2% of the residue of such waste in bulk ceramics.

Keywords: waste, gems sludge and red ceramic.

INTRODUÇÃO

Diante da crescente preocupação mundial com o aumento do volume de resíduos gerados pelas indústrias, vários foram os trabalhos realizados até o momento, que visam o descarte apropriado deste material, visto que quando depositados em aterros sanitários inadequados ou lixões, podem provocar contaminação do ar, lençol freático e até mesmo degradação do solo. Muitos trabalhos mostram o resultado da incorporação de resíduos industriais (como coque de petróleo, lodo de estação de tratamento, lodo de lavanderia industrial, resíduos galvânicos) a massas argilosas [1-4]. Diversos fatores impulsionam as indústrias a encontrarem um destino alternativo e seguro para seus resíduos, entre o quais: a responsabilidade ambiental, a redução do custo de disposição em aterros industriais e a possibilidade de transformar o resíduo em subproduto [5]. Pelo elevado volume de produção e pela heterogeneidade de sua composição [6], a indústria cerâmica tem sido considerada especial também para o encapsulamento de rejeitos potencialmente tóxicos como cádmio, chumbo, cromo, níquel e outros, dada a grande capacidade destes compostos se tornarem resistentes à lixiviação quando

queimados juntamente à massa cerâmica [7].

A argila, que é um dos componentes deste estudo, é um material natural, terroso, de granulação fina [8], que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade. Quimicamente as argilas são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio [9].

Pode-se dizer que a indústria cerâmica é uma das mais antigas do mundo, em virtude da facilidade de fabricação e abundância de matéria prima, o barro. No período neolítico o Homem pré-histórico já vedava as cestas de vime com o barro. Posteriormente verificou que podia dispensar o vime e fez potes só de barro, deixando-os secar ao ar. Mais tarde, constatou que o calor endurecia esse barro e surgiu a cerâmica propriamente dita, sendo nessa fase largamente empregada para os mais diversos fins, tanto que no ano 4000 a.C. os assírios já obtinham cerâmica vidrada [10]. Em 2011 a cerâmica vermelha destacou-se como a terceira maior produção mineral no Brasil, sendo estimada em 180 Mt, ficando atrás apenas da produção agregados (542 Mt) e de minério de ferro (380 Mt). A estrutura empresarial do segmento é bastante diversificada, considerando a produção, prevalecendo pequenos empreendimentos familiares

(olarias) seguido de cerâmicas de pequeno e médio porte, com deficiências na mecanização, e empreendimentos de médio a grande porte, operando com tecnologia moderna. Ainda para este ano, estimou-se a produção de cerâmica vermelha em 88 bilhões de peças, sendo que 70% representam blocos de tijolos e 30% telhas, estes valores foram calculados considerando o crescimento da construção civil de 3,6% [11]. Em estudo realizado pelo Sindicato das Indústrias de Olaria e de Cerâmica para Construção no Estado do Rio Grande do Sul (SINDICER, RS), verificou-se que a maior concentração de indústrias localiza-se nas regiões dos Vales do Caí e do Taquari, sendo que 77,5 % das indústrias utilizam matéria prima de jazidas próprias e 90% das empresas não caracterizam quimicamente a argila [12].

Estima-se que o Brasil seja responsável por um terço do volume das gemas do mundo [13], em 2004 alcançou a produção de 24 toneladas, o que lhe assegurou o 13º lugar no ranking mundial. Os principais polos produtivos do país se encontram em cinco Estados: Rio Grande do Sul, S. Paulo, Ceará, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O estado do Rio Grande do Sul é um grande produtor nacional de gemas, em especial da ágata e da ametista e, em menor quantidade, do citrino, respondendo por quase a totalidade das exportações dessas pedras [14]. Cidades como Lajeado e Estrela, RS, foram as precursoras na formação de pequenas fábricas individuais e posteriormente, em empresas industriais de tamanho e expressão nacional. Esse fato se deve à própria localização geográfica e aos fluxos migratórios de descendentes alemães, que trouxeram consigo a arte de extração e beneficiamento de pedras. Até o início da década de 1970, Lajeado centralizava toda a industrialização de pedras preciosas, mas, já no final desta década, pela proximidade com as regiões produtoras e possivelmente, pela disponibilidade de mão-de-obra mais barata, houve o deslocamento das empresas industriais de processamento de Lajeado para Soledade, RS [14]. Além das empresas de gemas o Vale do Taquari possui empresas de beneficiamento de granito e mármore, que vem despertando cada vez mais o interesse dos ambientalistas, em função dos resíduos gerados durante o processamento. Nas diversas etapas de produção (extração, corte, serragem e polimento), as perdas podem chegar a aproximadamente de 30 a 40% [15], esses resíduos, como a maioria dos materiais cerâmicos, apresentam como constituintes majoritários a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3) que são muito semelhantes aos resíduos utilizados neste trabalho.

Partindo-se da necessidade sempre maior de utilizarmos processos que possam reutilizar resíduos, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica, em escala piloto, da incorporação do resíduo do corte de gemas na fabricação de tijolos de cerâmica vermelha dando-se continuidade ao trabalho realizado anteriormente [16, 17] com o mesmo resíduo, em diferentes concentrações e argila de outra fonte.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo coletou-se argila da Olaria Winck, Arroio do Meio, RS, que possui jazida própria para a

extração e lodo proveniente do corte de indústria de gemas (resíduo), cedido pela Empresa Caye Pedras Brasil, Teutônia, RS. No lodo há resíduos de óleo diesel marítimo, usado para lubrificar a serra de corte. As gemas utilizadas pela indústria são oriundas de jazidas localizadas no município de Salto do Jacuí e Ametista do Sul, RS e do município de Artigas, Uruguai. Cabe destacar que o resíduo de gemas é classificado como resíduo de mineral não-metálico e portanto não perigoso, exceto pela presença de óleo, sendo que este é classificado como resíduo perigoso de fonte não específica, de periculosidade tóxica [18], estando em pequenas concentrações no lodo avaliado, pelo fato de haver recuperação do óleo para posterior reutilização pela empresa, no processo de beneficiamento de gemas.

Para as determinações da composição química dos materiais a argila e o lodo foram secos em estufa a 110 °C e desagregados manualmente e peneirados (0,840 mm). A composição química dos materiais foi determinada por fluorescência de raios X em equipamento Philips P2400 X'Pert. A espectrometria de fluorescência de raios X foi usada para determinar os óxidos na argila e no lodo de serra. A espectrometria de absorção atômica (EAA Spectrometer Solar Unicam 969) foi realizada para a análise de vanádio. Os percentuais dos óxidos foram avaliados em base calcinada a 1000 °C. A composição mineralógica foi obtida por difração de raios X (DRX) em equipamento Philips X'Pert Pro PW 3040/00, com geometria Bragg com fonte de radiação de cobre operado a 40kV e 40 mA, com 2θ variando entre 5° a 75°, passo 0,02° e tempo de contagem 5s/passos. A granulometria dos materiais foi determinada por peneiramento e sedimentação de acordo com norma técnica [19].

Produziu-se 150 corpos de prova, com forma de paralelepípedo-retângulo, com dimensões de 11,5 cm x 5,3 cm x 24 cm, estabelecidas por portaria do Inmetro [20] para tijolo cerâmico maciço, com cinco composições, misturando a argila cerâmica com o lodo de serra de gemas. Os materiais foram misturados em uma betoneira, após esta mistura foi acondicionada em uma esteira transportadora e conduzida até a maromba industrial. As cinco composições utilizadas no estudo foram: 100% de massa cerâmica; e as demais composições de argila com 2% (m/m), 6% (m/m), 10% (m/m) e 14% (m/m) de lodo de serra adicionado, denominados M0, M2, M6, M10 e M14, respectivamente. Essas composições foram propostas baseadas nas refs. [16, 17]. O resíduo, antes de ser incorporado à massa cerâmica, foi triturado em moinho de bolas para diminuir o diâmetro das partículas. Logo após a confecção os corpos de prova produzidos com as diferentes composições foram levados ao secador industrial, sendo processados de 30 a 90 °C. O processo de secagem é necessário para a retirada da maior quantidade de umidade possível de dentro da massa dos tijolos, evitando a desagregação antes da queima. Após processo de secagem, os corpos de prova foram queimados em forno túnel com temperatura variando de 800 a 850 °C, por 32 h, todos à mesma altura. Completada a queima, os tijolos foram resfriados em temperatura ambiente. Após

o processo, foram feitas as análises físicas dos corpos de prova, em suas diferentes composições.

Utilizaram-se como parâmetros de avaliação nas diferentes composições, propriedades físicas e mecânicas, ou seja, a resistência à compressão, a retração linear, absorção de água [21-23] e, além destas, foram determinadas a distribuição das partículas de sílica na massa cerâmica, por microscopia, e massa específica aparente. Todas as análises foram feitas em triplicata. Os testes de resistência à compressão foram realizados em uma prensa Solotest com curso máximo 30 mm, com indicador digital e bomba Emerson B e com 10.000 psi de capacidade máxima. A absorção de água foi em balança de precisão Bel Eng. M1702 e estufa Biopar. Para os testes de retração linear utilizou-se um paquímetro Universal 300 mm Starrett. A massa específica aparente foi determinada pelo método de Arquimedes em água, em balança Bel Mark 210A com kit hidrostático. As micrografias foram obtidas em um microscópio óptico binocular Quimis Q730MIT (aumento de até 1000x).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química da argila e do resíduo está apresentada na Tabela I, sendo que os resultados da argila apresentam pequenas diferenças em relação ao trabalho desenvolvido anteriormente [16, 17], tais divergências podem ser explicadas pelas particularidades existentes entre as diferentes jazidas. A argila apresenta como seus principais constituintes a sílica e a alumina, com percentuais de 65,4%, 13,9%, respectivamente e quantidades menores de óxidos de K, Mg, Mn, Na e Ti. A sílica livre reduz a plasticidade e o trincamento, também diminui a retração e facilita a secagem [10], ela é proveniente de quartzo, opala, ágata e calcedônia. A alumina, conforme o tipo pode aumentar ou diminuir o ponto de fusão. Ela reduz a plasticidade, a resistência mecânica e também as deformações. A sílica indica a provável presença de argilominerais tais como caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), muscovita ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$), mulita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) bem como quartzo livre. O que pode ser destacado é a presença considerável de óxido de ferro (8,6%) que indica a presença da hematita (Fe_2O_3), que é responsável pela coloração avermelhada nos produtos após sua queima [24]. A perda ao fogo (6,2%) da argila relaciona-se a perda de voláteis, ou seja, queima de material orgânico, decomposição de carbonatos, perda de água e desidratação de hidróxidos [15, 24]; porém este valor relativamente baixo

confirma o elevado percentual de SiO_2 . A perda ao fogo (3,5%) do resíduo deve-se provavelmente à combustão do óleo mineral adicionado como lubrificante e à presença de carbonatos de cálcio (aragonita) e magnésio. O resíduo com composição química de 94,8% de sílica mostra, a presença da ágata e ametista no mesmo [16, 17].

Os difratogramas de raios X da argila e do resíduo estão apresentados na Fig. 1. Observa-se que a argila é constituída principalmente de quartzo (SiO_2), picos menos intenso de hematita (FeO_2), que confere a coloração vermelha à massa cerâmica e mulita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$). No resíduo há predominância do quartzo, que é o principal componente da ágata e ametista. Nota-se, também a presença, no resíduo de hematita (FeO_2), ilita [$\text{K}_{0,5}(\text{Al},\text{Fe},\text{Mg})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$], caulinita [$(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$] e microlina [$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$].

A Tabela II mostra o resultado da granulometria para a argila e resíduo brutos, demonstrando que mais de 60% das partículas da massa argilosa estão presentes na fração argila/silte, porém para o resíduo a fração argila inexistente. A fração argila/silte é extremamente importante para um processo de queima adequado, sem trincas [25]. Partículas com tamanho elevado causam problemas na etapa de queima do tijolo provocando trincas devido à transformação alotrópica do quartzo, que ocorre com redução de volume [26]. Para minimizar este problema, o resíduo antes de ser utilizado nos corpos de prova foi triturado em moinho de bolas. Estudos realizados com massa argilosa de Campos dos Goytacazes-RJ [27] mostraram 44% de fração argila, 49% silte e 7% areia. Para a mistura de dois tipos de argila de cor acinzentada, também de Campos de Goytacazes, RJ, os autores obtiveram para a fração argila 60%, silte 28% e areia 12% [26].

A Tabela III apresenta os resultados de absorção de água, massa específica aparente e resistência à compressão. A absorção de água aumentou com a quantidade de resíduo incorporada para a fabricação de tijolos, o que está relacionado com a porosidade associada à incorporação do mesmo [28], esta capacidade de absorção depende do tamanho dos poros, das interligações e proporções entre eles. O tamanho grosseiro do resíduo incorporado e a temperatura de queima (aproximadamente 850 °C) podem ser as principais explicações para o aumento da absorção de água para as amostras estudadas. A norma técnica [21] permite no máximo 22% de absorção de água, baseado nisto, somente as formulações M0 e M2 estão dentro do recomendado. O trabalho anterior desenvolvido pelo grupo [16, 17] que utilizou o mesmo resíduo, porém massa

Tabela I - Composição química da argila e do resíduo de gemas.

[Table I - Clay and waste chemical compositions.]

Amostras	Composição em massa (%)										
	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	SiO_2	TiO_2	PF*
Argila	13,86	0,56	8,63	1,96	0,69	0,22	0,75	0,18	65,35	1,57	6,24
Resíduo	0,25	0,45	0,64	<0,01	0,22	0,01	0,08	<0,01	94,77	0,04	3,53

* PF = Perda ao fogo

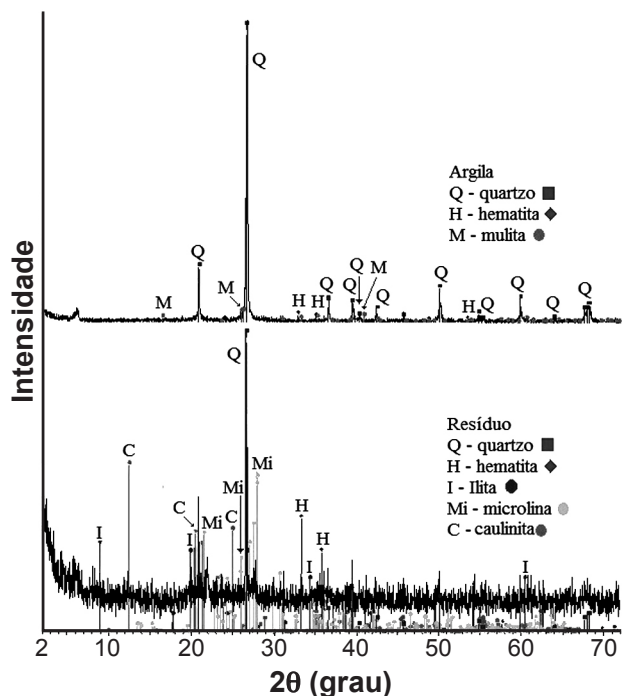


Figura 1: Difratogramas de raios X da argila e resíduo.
[Figure 1: X-ray diffraction patterns of clay and waste.]

cerâmica de composição química diferente obteve para a absorção de água dentro do especificado pela norma [23] uma concentração máxima de resíduo de 5%. Em trabalho realizado com adição de lodo de gemas a massa cerâmica vermelha [16, 17] os autores também observaram que com o aumento da concentração do resíduo há um incremento da absorção de água para a mesma temperatura de queima. Para a massa específica aparente notou-se uma diminuição do valor com o aumento da concentração de resíduo incorporado à massa argilosa e apenas a formulação M14 não se enquadra à norma [29] que prevê como 1,70 g/cm³ o valor mínimo. Já nos resultados do ensaio de resistência à compressão, conforme Tabela III, é possível observar um decréscimo no valor de resistência à compressão com uma maior quantidade de resíduo utilizada. De acordo com norma técnica específica [23], conforme Tabela IV, os tijolos são classificados em categorias A, B, ou C, portanto, pode-se afirmar que os corpos de prova com a composição de 14% de resíduo encontram-se fora de qualquer categoria.

A retração que ocorre após secagem e queima, não possui parâmetro específico e pode ser explicada pelo resultado da eliminação de água durante a queima. Ao ser eliminada a água e ao surgirem os espaços por ela deixados, ocorre uma

Tabela II - Análise granulométrica da argila e do resíduo.
[Table II - Granulometric analysis of clay and waste.]

Amostra	Fração		
	Argila (%) (< 2 μm)	Silte (%) (2 ≤ x < 63 μm)	Areia (%) (>63 μm)
Argila bruta	11	65	24
Resíduo bruto	0	13,7	86,3

Tabela III - Resultado das análises dos corpos de prova após queima com as diferentes concentrações de resíduo utilizado.

[Table III - Results of the specimen analyses after firing with different concentrations of added waste.]

Denominação	Absorção de água (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Resistência à compressão (MPa)
M0	18,50 ± 0,24	1,92 ± 0,0	12,17 ± 0,29
M2	19,41 ± 0,04	1,89 ± 0,01	9,16 ± 0,08
M6	22,72 ± 0,0	1,78 ± 0,06	7,49 ± 0,49
M10	23,63 ± 0,23	1,73 ± 0,09	4,47 ± 0,44
M14	26,87 ± 0,10	1,55 ± 0,04	0,95 ± 0,01

Valor médio ± desvio padrão (n=3)

Tabela IV - Classificação dos tijolos quanto à resistência à compressão [23].

[Table IV - Rating bricks for resistance to compression [23].]

Tipo	Resistência à compressão (MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

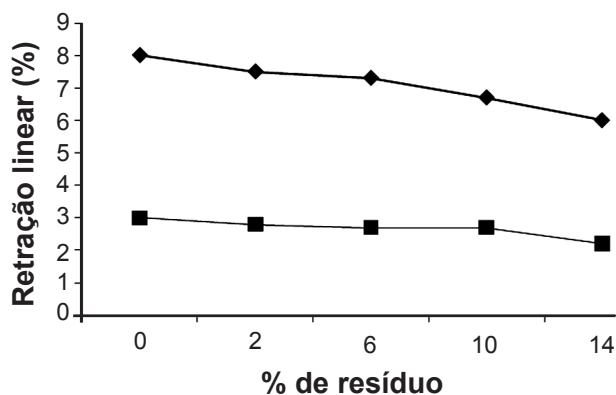


Figura 2: Retração linear dos corpos de prova após secagem (■) e após queima (◆) do tijolo.

[Figure 2: Linear shrinkage of the specimens after drying (■) and after firing (◆) of brick.]

aproximação das partículas em consequência das forças de atração eletrostática, provocando enxugamento do material. Isto está demonstrado na Fig. 2, onde, para uma maior quantidade de resíduo, menor a retração do tijolo produzido. O resíduo incorporado a massa cerâmica é formado principalmente por sílica, cerca de 95%, que devido ao seu caráter inerte tende a diminuir a retração linear [26]. Para o processo de produção industrial de tijolos, quanto menor a retração linear, menores os riscos de ocorrerem trincas durante a secagem. Mesmo sendo um parâmetro sem norma

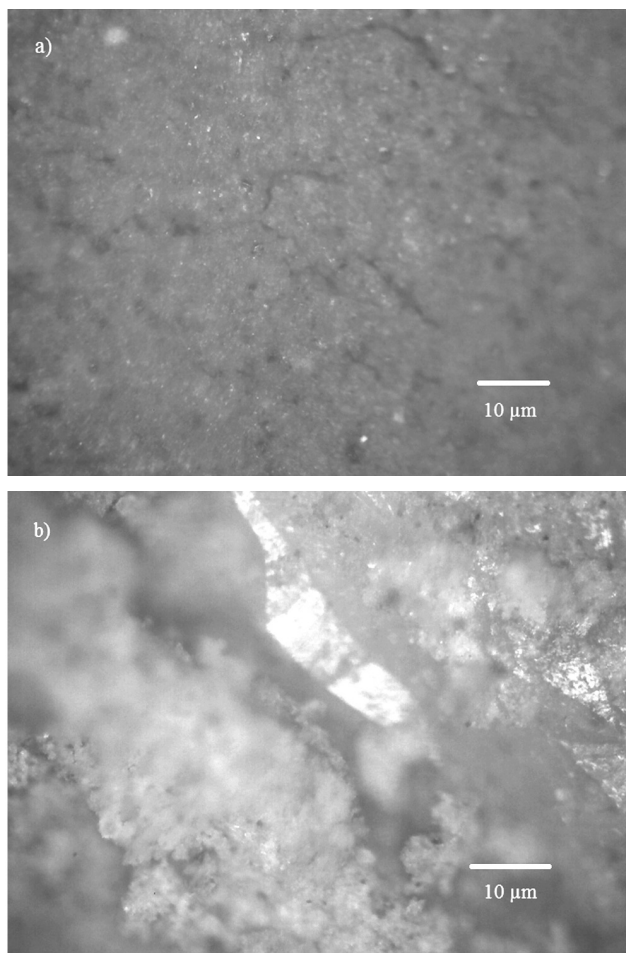


Figura 3: Micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura das amostras: (a) sem adição de resíduo de gemas; (b) com adição de 14% de resíduo de gemas (aumento de 10x).

[Figure 3: SEM micrographs of samples: (a) without addition of sludge bud, (b) with addition of 14% of sludge bud (10x magnification).]

específica é importante sua determinação percentual em função da normatização das medidas finais dos tijolos.

As micrografias, Figs. 3a e 3b, diferem por apresentarem fragmentos de coloração leitosa, característicos de gemas. Estes fragmentos, presentes na micrografia (b), são problemáticos na produção de tijolos, pois há prejuízo no sistema de corte devido ao rompimento dos fios de aço do cortador o que ocasiona interrupção da produção. Além do desgaste dos equipamentos, a dimensão destas partículas pode influenciar no aumento da porosidade dos tijolos e, conseqüentemente, repercutir no aumento da absorção de água e na diminuição de resistência dos tijolos. Inclusive, em função do tamanho destes fragmentos, podem ocorrer trincas, pois, a região onde a gema se localiza apresenta grande porosidade, facilitando a perda de umidade e resultando, então, em rachaduras [17].

CONCLUSÕES

Com os resultados da investigação realizada é possível

indicar a utilização de até 2% de resíduo de gemas à massa cerâmica vermelha para a produção de tijolos de alvenaria. O fator limitante para este percentual de incorporação de resíduo foi o teste de absorção de água, que prevê um máximo de 22%. Para os outros testes apenas o tijolo com 14% de resíduo estaria fora dos parâmetros avaliados. Os resultados obtidos para a absorção de água, retração linear e resistência à compressão devem-se principalmente ao tipo de resíduo incorporado, composto principalmente por sílica (quartzo), que é um material inerte e com granulometria grosseira.

AGRADECIMENTOS

À Olaria Winck de Arroio do Meio, à Caye Pedras Brasil de Teutônia, ao Centro Tecnológico de Gemas e Joias da UNIVATES, ao Centro de Tecnologia de Materiais do SENAI de Criciúma, SC, ao Centro Universitário UNIVATES, e ao Grupo de Pesquisa em Ambiente e Alimentos.

REFERÊNCIAS

- [1] L. A. de Freitas, S. N. Monteiro, R. Sánchez, C. M. F. Vieira, *Cerâmica* **57**, 342 (2011) 206.
- [2] J. P. D. Vitorino, S. N. Monteiro, C. M. F. Vieira, *Cerâmica* **55**, 336 (2009) 385.
- [3] L. C. S. Herek, A. T. Silva Junior, C. C. Pavezzi, R. Bergamasco, C. R. G. Tavares, *Cerâmica* **55**, 326 (2009) 326.
- [4] V. T. Balaton, P. S. Gonçalves, L. M. Ferrer, *Cerâmica Industrial* **7** (2002), 42.
- [5] H. N. Yoshimura, A. C. Camargo, J. C. S. Portela, *Cerâmica Industrial* **10** (2005) 35.
- [6] R. R. Menezes, G. A. Neves, H. C. Ferreira, *Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.* **6** (2002) 303.
- [7] P. E. M. Groenner, “Reaproveitamento do resíduo de fabricação de consumíveis para soldagem em tijolos de cerâmica vermelha”, Diss. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG (2007).
- [8] P. S. Santos, “Ciência e Tecnologia de Argilas”, 2ª Ed. Vol. 2, Ed. Edgard Blücher, S. Paulo, SP (1989) 215.
- [9] R. S. Macedo, R. R. Menezes, G. A. Neves, H. C. Ferreira, *Cerâmica* **54**, 332 (2008) 411.
- [10] L. A. F. Bauer, *Materiais de Construção*, 5ª Ed. Vol. 2, Livros Técnicos e Científicos Edit. (2008) 526.
- [11] Ministério de Minas e Energia - MME, *Anuário estatístico do setor transformação de não metálicos*, Brasília, DF (2012).
- [12] SINDICER, *Diagnóstico da Indústria da Cerâmica Vermelha do Estado do Rio Grande do Sul*, SENAI, FIERGS, Porto Alegre, RS (2008) 88.
- [13] P. P. Boabaid, “A Indústria de Jóias no Brasil - Posicionamento Estratégico de uma Micro-Empresa”, Diss. Mestrado Profissionalizante, Administração, Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, RJ (2006) 32.

- [14] M. G. P. Lisboa, N. M. Stefano, *Qualidade do Produto Através do Controle do Processo- Estudo Organizacional em uma Empresa Produtora de Jóias*, X SEPROSUL - Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana, Santiago, Chile (2010) 5.
- [15] J. B. Silva, D. Hotza, A. M. Segadães, W. Acchar, *Cerâmica* **51**, 320 (2005) 325.
- [16] F. R. Bruxel, “A problemática dos resíduos provenientes do Setor de Gemas: avaliação da incorporação de lodo de gemas na massa cerâmica”, Diss. Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates, Lajeado, RS (2011) 35.
- [17] F. R. Bruxel, E. C. Oliveira, S. Stulp, C. S. Muller, H. D. Etchepare, *Cerâmica* **58**, 346 (2012) 211.
- [18] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 10004: *Resíduos de minerais não-metálicos - Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos*, Rio de Janeiro, RJ (2004).
- [19] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 7181: *Determinação da análise granulométrica de solos*, Rio de Janeiro, RJ (1984).
- [20] Serviço Público Federal, Portaria Inmetro/MDIC nº 16, de 05 de janeiro (2011).
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15270-1: *Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos*, Rio de Janeiro, RJ (2005).
- [22] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15270-2: *Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos*, Rio de Janeiro, RJ (2005).
- [23] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15270-3: *Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio*, Rio de Janeiro, RJ (2005).
- [24] G. C. Xavier, F. Saboya, P. C. A. Maia, J. Alexandre, *Cerâmica* **55**, 333 (2009) 1.
- [25] F. M. S. Ramos, O. T. Kaminata, C. R. G. Tavares, C. T. Benatti, M. Capelasso, B. D. Innocenti, *Cerâmica* **55**, 336 (2009) 408.
- [26] L. F. T. Queiroz, S. N. Monteiro, C. M. F. Vieira, *Cerâmica* **56**, 339 (2010) 279.
- [27] E. M. S. Oliveira, J. N. F. Holanda, *Cerâmica* **54**, 330 (2008) 167.
- [28] J. C. R. Borges, O. R. K. Montedo, *Cerâmica Industrial* **16** (2011) 25.
- [29] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, NBR 7170-96, “*Tijolo maciço cerâmico para alvenaria, especificações*”, Rio de Janeiro, RJ (1996).
(Rec. 12/12/2012, Rev. 15/04/2013, Ac. 16/04/2013)