

parcialmente incompleto e necessitando a caracterização mineral da fração silte, e análises químicas das demais amostras (em andamento). Depois de completadas as análises restantes, serão possíveis pormenorizar as características da degradação mineral na presente pilha.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOUR, A. P.; BRITO NEVES, B. B. DE; MEDEIROS, R. A. (1990). Algumas implicações tectônicas na gênese das mineralizações sulfetadas do tipo Panelas no Vale do Ribeira. SP e PR. *Rev. Bras. Geociências*, 20:46-54.
- CHIODI FILHO, C.; ALEGRI, V.; BATOLLA Jr., F. (1981): Área ribeirão do Rocha: Relatório Final, volume VI. Projeto de Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM.
- HUTCHISON, I. P. G.; ELLISON, R. D. (eds.). *Mine Waste Management* (1992). California Mining Association. Lewis Publishers Inc. Michigan - USA. 654p.
- JAMBOR, J. L.; BLOWES, D. W. (1997). Theory and applications of mineralogy in environmental studies of sulfide-bearing mine wastes. In: COM/IMA. *Modern Approaches to Ore and Environmental Mineralogy*. Laboratório do IGM. S. Mamede de Infesta, Portugal. 1-42.
- LEDIN, M.; PEDERSEN, K. T. (1996). The environmental impact of mine wastes - roles of microorganisms and their significance in treatment of mine wastes. *Earth-sciences Reviews*, v. 41, p67-108.

PRODUTOS DE CERÂMICA ESTRUTURAL ELABORADOS COM RESÍDUOS DA MINERAÇÃO DE AREIA: EXCELENTE DESEMPENHO

CUCHIERATO, Gláucia(1) & SANT'AGOSTINO, Lília Mascarenhas (2)

(1) Geóloga, Mestre em Recursos Minerais - Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências (IGC). Pesquisadora do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Cidade Universitária - São Paulo - CEP: 05508-900. E-mail: glauucia@ipt.br

(2) Profª Drª, Universidade de São Paulo, Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do Instituto de Geociências (IGC). Rua do Lago, 562 - Cidade Universitária - São Paulo - CEP: 05508-900. E-mail: agustino@usp.br

PALAVRAS-CHAVE: caracterização tecnológica, minerações de areia, bacias de decantação, aproveitamento de resíduos, Região Metropolitana de São Paulo.

RESUMO

O estudo de resíduos finos, silto-argilosos, provenientes de mineração de areia da Região Metropolitana de São Paulo, teve como objetivo investigar uma aplicação para este material, que é descartado e acumulado em bacias de decantação. Uma das aplicações verificadas foi o uso em produtos de cerâmica estrutural e de revestimento. Resultados da caracterização tecnológica efetuada indicaram que os resíduos apresentam composições químicas e mineralógicas bastante favoráveis, além de granulometria adequada para elaboração dos produtos. Os ensaios cerâmicos foram feitos sem a elaboração de misturas e composições com outras matérias-primas (sem a adição de outros componentes típicos das massas cerâmicas tradicionais). Os resultados foram positivos, e alguns dos casos estudados seriam mais bem aplicados se acrescidos de pequena proporção de caulinita, para uso em cerâmicas brancas, ou de argilas com maiores teores de ferro para uso em revestimento e cerâmica estrutural. Quanto ao processo produtivo, o ideal seria a fabricação das peças via úmida, pois os resíduos se encontram acumulados em bacias de decantação.

1 INTRODUÇÃO

A partir de uma pesquisa detalhada sobre os resíduos gerados pela mineração de areia da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) realizado por Cuchierato (2000), foram feitos estudos sobre as potenciais aplicações destes materiais, incluindo neste universo seu uso como matéria-prima na elaboração de produtos de cerâmica estrutural.

Os resíduos estudados compreendem as frações granulométricas não comercializadas pelas minerações e que são geralmente acumulados em bacias de decantação. Os resíduos variam de acordo com a rocha-fonte explorada para a produção de areia e/ou segundo os métodos de lavra e beneficiamento.

Na RMSP observa-se a produção de areia a partir de sedimentos inconsolidados extraídos pelo método de dragagem em leitos de rios, ou a partir de rochas sedimentares ou mantos de alteração de rochas cristalinas em cavas secas, através de desmonte hidráulico e/ou desagregação mecânica (escarificação). A classificação dos produtos é feita em diversas frações arenosas, que são separadas por métodos gravitacionais / decantação, em silos de armazenamento. O aproveitamento da areia nos empreendimentos de leito de rio é praticamente integral, geralmente maior que 90 %, e os resíduos retornam à drenagem durante o processo de extração. No caso da produção de areia em cavas secas, o aproveitamento é de 50 a 70 % do total produzido, e os resíduos finos são descartados em bacias de decantação. Nas minerações onde há classificação por intermédio de hidrociclonação, a perda de material arenoso é bem menor.

O estudo da utilização dos resíduos da mineração de areia na indústria cerâmica foi feito devido à grande quantidade de material não aproveitado, que se constitui em um passivo ambiental e produtivo. Sua utilização poderá otimizar o fornecimento de matérias-primas para a indústria cerâmica, bem como contribuir para diminuir a sua problemática no contexto do empreendimento mineiro.

Alguns dos resíduos já apresentaram potencialidade de uso em cerâmicas vermelhas e brancas, de acordo com resultados obtidos em estudos anteriores (Cuchierato *et alii* 1998).

2 MATERIAIS CERÂMICOS

De acordo com a American Ceramic Society (*apud* Santos 1989), cerâmicas ou materiais cerâmicos compreendem todos os materiais de emprego em engenharia ou produtos químicos inorgânicos, excetuados os metais e suas ligas, que ficam utilizáveis geralmente pelo tratamento em temperaturas elevadas. Norton (1973, *apud* Grego 1998) adota o critério genético da palavra cerâmica - que é proveniente do grego e significa "coisa queimada" - e inclui nesta classe a cerâmica vermelha, branca, esmaltes, refratários, vidros, cimentos e abrasivos. A definição adotada atualmente pela Associação Brasileira de Cerâmica considera a cerâmica como *a arte, ciência e tecnologia de fabricar e usar peças sólidas, as quais tem como componente essencial, ou são constituídas em grande parte, por materiais inorgânicos não metálicos, denominados materiais cerâmicos*. Para classificar os materiais cerâmicos, optou-se por utilizar a subdivisão de Motta (2000), que reúne os produtos cerâmicos em 8 grupos, baseados principalmente no tipo de utilização final (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação dos produtos cerâmicos (Motta 2000)

Grupo	Setor	Produtos
1	Cerâmica estrutural ou vermelha	Tijolos, telhas, blocos, lajes, vasos ornamentais, agregados leves.
2	Cerâmica branca	Grês sanitário, porcelanais (mesa e elétrica), faiança.
3	Cerâmica de revestimento	Pisos, azulejos, grês porcelânico, ladrilhos, pastilhas, outros.
4	Refratários	
5	Refratários isolantes	
6	Cerâmicas especiais	
7	Cimento	
8	Vidro	

Os materiais cerâmicos são fabricados a partir de matérias-primas naturais, beneficiadas e/ou sintéticas, com características controladas. Por meio de um processamento adequado, as propriedades dessas matérias-primas são alteradas nas suas composições químicas, estruturas cristalinas e nos arranjos das diversas fases componentes. Geralmente, pelo menos em uma das etapas do processamento os materiais são submetidos a temperaturas elevadas para que as propriedades úteis desejadas sejam desenvolvidas.

O processo de fabricação de produtos cerâmicos compreende, segundo Souza Santos, basicamente, quatro etapas essenciais, indicadas abaixo. Em alguns tipos de cerâmica, existe um processo adicional, realizado após a queima, denominado esmaltação.

- Preparação das matérias-primas: engloba a cominuição por meios mecânicos ou outros, classificação granulométrica por sedimentação, peneiramento ou outros, seguidas de mistura ou dispersão em água, para melhorar a relação das fases constituintes das partículas do sistema.
- Conformação (moldagem) e fabricação: densificação da polpa ou barbotina, compactação e moldagem em peças de formas e dimensões desejáveis.
- Processamento térmico: transformação em estrutura e composição pela aplicação de energia térmica nos produtos conformados, tais como secagem, queima, recozimento e fusão.
- Acabamento: tratamento final para tornar a peça queimada utilizável, que pode ser por cobertura, polimento e galvanoplastia.

As matérias-primas cerâmicas podem ser classificadas como plásticas e não-plásticas. As matérias-primas plásticas são essenciais na fase de conformação e também exercem funções ao longo de todo o processo cerâmico; as não-plásticas atuam mais na fase de queima e como desplastificantes. As principais matérias-primas plásticas utilizadas na preparação das massas cerâmicas são: argilas fundentes (queima vermelha), argilas plásticas (queima branca ou clara) e caulim, sendo que apresentam granulometria muito fina, com partículas abaixo 2µm. Dentre as matérias-primas não-

plásticas destacam-se areia, mica, óxidos de ferro, fundentes feldspáticos, carbonatos (calcário e dolomito), filito e talco, sendo que os dois últimos também possuem características plásticas. O quartzo (material não-plástico) geralmente já está incorporado a outras substâncias minerais (areia, argila, filito e fundentes feldspáticos).

As argilas de granulometria muito fina apresentam boa plasticidade, mas precisam de uma considerável quantidade de água para desenvolver completamente esta característica. Apresentam alta resistência mecânica a seco e após a queima, alto grau de compactação, difícil perda d'água durante a secagem e podem sofrer fortes retrações diferenciais e deformações. Os redutores de plasticidade diminuem o grau de compactação da massa cerâmica, com redução da plasticidade das argilas e das contrações sofridas pela massa, tanto no processo de secagem quanto de queima.

A adição de matérias-primas não-plásticas reduz a interação das argilas com a água, causando pontos de descontinuidade nas forças de coesão entre as partículas, produzindo poros que permitem a passagem da água e proporcionam uma melhor trabalhabilidade na massa. Um dos redutores de plasticidade mais utilizados é a areia, com granulometria entre 0,05 e 0,5 mm, sendo que a adição de 20 % de areia fina (grãos menores que 0,06 mm) e 10 % de areia grossa (grãos maiores que 0,06 mm) ocasiona redução na retração da secagem no processo cerâmico.

2.1 Especificações das Matérias-Primas

O setor cerâmico possui especificações flexíveis e que são adaptáveis a matérias-primas locais. A maior restrição é quanto à faixa granulométrica das matérias-primas, geralmente abaixo de 0,075 mm, bem como uma composição mineralógica adequada. De qualquer forma, dentre os segmentos da indústria cerâmica existem algumas especificações das matérias-primas, para otimizar a elaboração das massas, e serão apresentadas a seguir, de acordo com definições citadas em Grego (1998) e Motta (2000).

Cerâmica estrutural ou vermelha: a massa é composta por argilas de diferentes plasticidades (gorda / magra), mineralogia (\pm argilominerais / \pm quartzo) e granulometria (argila / areia-silte), que conjuntamente propiciem boa trabalhabilidade e resistência mecânica, queimando preferencialmente na cor vermelha. Os constituintes minerais destas argilas são caulinita, illita, montmorilonita, vermiculita e cloritas; os outros minerais presentes são quartzo, mica, fragmentos de rocha, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro, dentre outros. A presença de matéria orgânica aumenta a plasticidade e resistência mecânica a cru. Nestas argilas, são altos os teores de SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO e $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$. Dentre os fatores indesejáveis, por causarem retração, estão os altos teores de ferro, elementos alcalinos e alcalino-terrosos, os quais são responsáveis pela vitrificação. O ambiente de queima é oxidante, em temperaturas em torno de 900°C. Os fundentes estão presentes nas illitas e esmectitas, e para uma maior sinterização das peças (no caso das telhas e blocos) há exigência de maiores quantidades destes argilominerais.

Cerâmica branca: utilizam-se massas compostas de caulins, quartzo, feldspato e argilas plásticas, com granulometria muito fina (50 a 90 % das partículas com diâmetro $< 0,001$ mm), alto poder ligante, refratariedade baixa e cor de queima branca, creme-claro e marfim. As composições básicas são caulinita (0-30 %) e quartzo

(10-25 %), sendo que, subordinadamente, apresentam clorita, montmorilonita e illita, dentre outros. Para peças de cores mais escuras, admitem-se matérias-primas fundentes alternativas ao feldspato, tais como filito, pegmatito e granito. As matérias-primas são geralmente moídas a úmido e conformadas por várias técnicas (colagem, extrusão, tornearia). A temperatura de queima atinge 1.200 a 1.250 °C.

Cerâmica de revestimento: este segmento consome anualmente cerca de 6 milhões de toneladas de matéria-prima mineral, sendo 20 % rochas e fundentes. As placas cerâmicas são obtidas por diversas combinações de matérias-primas (simples / composta) e processos de produção (via seca / via úmida). As massas simples, via seca, são, geralmente, compostas por argilas de queima avermelhada, e as massas compostas, via úmida, são constituídas de argilas, caulins, filito e rochas feldspáticas, talco, carbonatos e quartzo. São baixos os teores de Al_2O_3 (< 25 %) e médios os de ferro (< 10 %). A demanda é por matérias-primas que tenham boa sinterização em condições de queima rápida a temperaturas entre 1.000 e 1.200°C, e queimem em cores claras.

3 METODOLOGIA ADOTADA

Com o objetivo de pesquisar possíveis fontes sucedâneas de matérias-primas, esta pesquisa partiu da hipótese da utilização dos resíduos das minerações de areia na indústria cerâmica, sem a elaboração de misturas e composições com outras matérias-primas.

Os resíduos foram submetidos a estudos de Caracterização Tecnológica, que pressupõe o estudo de recursos minerais, tendo em vista as tecnologias usuais de seu processamento. Este termo vem sendo empregado no Brasil para denominar o estudo das propriedades físicas, químicas e físico-químicas de matérias-primas minerais para fins de beneficiamento ou aplicação, abrangendo o estudo das características do material e o levantamento de índices tecnológicos. Dentre as metodologias / técnicas envolvidas na caracterização tecnológica, foram utilizadas neste estudo as seguintes etapas: preparação de amostras; análises instrumentais (química e mineralógica); e ensaios tecnológicos específicos.

Preparação de amostras: os resíduos de mineração de areia foram homogeneizados por mistura e chacoalhamento em recipientes adequados, e todo o material, amostrado diretamente nos locais dos circuitos de beneficiamento das pedreiras, foi trabalhado. Primeiramente foi feito peneiramento a úmido, com separação da fração granulométrica $> 0,075$ mm, que foi descartada para este estudo.

Ensaio tecnológicos específicos: foram confeccionados corpos-de-prova, de dimensões 60 x 20 x 4 mm, moldados por prensagem sob pressão de 24 MPa, pesando cerca de 8g. Foram feitas determinações de índice de cor, retração linear, umidade, módulo de ruptura à flexão, absorção d'água, porosidade aparente, massa específica aparente e perda ao fogo nos corpos-de-prova secos em estufa a 110°C (verde) e queimados em três temperaturas. As temperaturas escolhidas foram aquelas usualmente utilizadas nos diversos setores das indústrias cerâmicas: 950°C (queima para cerâmica vermelha), 1.100°C (média para queimas de revestimentos) e 1.250°C (usual para cerâmica branca), 1.450°C (mínima queima para refratários). A queima foi feita em fornos de laboratório. A partir da determinação de alguns parâmetros (coloração, absorção d'água, porosidade, massa específica aparente e resistência mecânica à

flexão), foi feita a classificação de qual o uso a ser dado aos materiais submetidos aos ensaios, considerando o uso em cerâmica vermelha, branca e de revestimentos, segundo Santos (1989).

4 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais selecionados para serem submetidos aos ensaios específicos de caracterização tecnológica na área de cerâmica foram quatro casos de resíduos gerados em três minerações de areia. Nas minerações de areia, existe uma grave problemática relativa à disposição dos resíduos, pois o material descartado corresponde a uma perda bastante expressiva da produção, sendo basicamente constituída de partículas finas, abaixo de 0,075 mm (#200).

O caso AR06 é o resíduo resultante de uma usina de areia instalado junto a Pedreira Perus (Embu S/A, localizada na região de Perus, município de São Paulo). A rocha-fonte de areia é o espesso manto de alteração que ocorre sobre o maciço granítico explorado para a produção de brita, o qual é retirado por desmonte hidráulico, e também o produto gerado na lavagem da brita durante algumas etapas de britagem. A classificação da areia na usina é feita através de vários estágios de hidrociclonagem, com corte em 0,15 mm. A fração granulométrica separada para a realização dos ensaios cerâmicos corresponde a 80 % do total enviado à bacia de decantação.

A mineração de areia AR25 é um típico porto de areia, que explora areia a partir de rochas sedimentares da Bacia de São Paulo, e localiza-se em Mogi das Cruzes (Itaquareia Ind. Extrativa de Minérios). A classificação da areia neste caso é feita através de várias etapas de classificação por decantação e hidrociclonagem. A fração granulométrica separada para a realização dos ensaios cerâmicos corresponde a 96 % do total enviado à bacia de decantação, o que indica ser uma fração quase que exclusiva nesta mineração.

A mineração AR42 (Mineração Viterbo Machado Luz, localizada na região de Parelheiros, município de São Paulo) possui dois tipos de resíduo que são separados e destinados para duas bacias de decantação diferentes, denominadas Cida (AR42c) Global (AR42g). A rocha-fonte de areia é a mesma, um espesso manto de alteração do maciço granítico (Prata Interlagos). O que causa a diferenciação nos resíduos é o processo de classificação granulométrica dos produtos: feita através de hidrociclonagem, que limita o produto com corte em 0,15 mm (AR42g) ou feita através de gravimetria / separação por decantação, onde não há uma determinação precisa de corte granulométrico (AR42c). No caso do resíduo tipo AR42c, a fração granulométrica separada para a realização dos ensaios cerâmicos corresponde a 38 % do total enviado à bacia de decantação. Para o resíduo tipo AR42g, esta fração corresponde a 78 %. A geração total de resíduo nesta mineração é de cerca de 40 % da produção da mineração, o que corresponde a 120.000 m³/ano.

As composições química e mineralógica destes materiais podem ser observadas nas Tabelas 2 e 3. Os resíduos de mineração de areia apresentam composição química (baixos teores de SiO₂ e álcalis, alto teor de Al₂O₃ e alta perda ao fogo) e mineralógica (presença de argilominerais) favoráveis, também apresentam granulometria adequada, o que proporciona melhores resultados cerâmicos.

Tabela 2 – Composição química da fração -0,075mm

Código	ÓXIDO(% em peso)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.F.
AR06	48,50	28,30	0,48	3,45	0,47	1,27	0,07	4,69	0,79	0,22	11,30
AR25	50,60	24,70	0,16	2,27	0,63	0,93	0,02	6,68	0,97	0,19	12,40
AR42c	54,90	26,60	0,23	4,42	0,06	0,19	0,07	3,43	0,26	0,07	9,39
AR42g	45,90	31,90	0,08	2,06	0,07	0,11	0,07	3,48	0,23	0,10	15,80

Tabela 3 – Composição mineralógica da fração -0,075mm (minerais principais)

Código	Mineralogia
AR06	Quartzo, Microclínio, Plagioclásio, Muscovita, Biotita, Caulinita
AR25	Quartzo, Microclínio e Ortoclásio, Muscovita, Caulinita
AR42c	Quartzo, Microclínio, Muscovita, Flogopita, Piroxênio, Caulinita, Anortoclásio, Hidrobiotita
AR42g	Quartzo, K Feldspato (Microclínio), Muscovita, Caulinita

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos indicam o comportamento cerâmico individual dos resíduos estudados, sem ter sido feita qualquer adição de outros componentes típicos das massas cerâmicas tradicionais, tendo se mostrado bastante interessantes, a partir dos parâmetros determinados, como indicado na Tabela 4 e ilustrado pelas Figuras 1 a 4.

Tabela 4 – Comportamento cerâmico dos resíduos de mineração de areia

FASE	DETERMINAÇÕES	AR06	AR25	AR42c	AR42g
Secagem (110°C)	Módulo de Ruptura à Flexão (MPa)	0,4	1,6	1,2	2,2
	Cor	Rosa médio	Cinza	Bege	Bege escuro
Queima (950°C)	Retração linear na queima (%) *	- 0,27	- 2,66	+0,43	- 0,66
	Módulo de Ruptura à Flexão (MPa)	1,8	9,4	2,3	3,7
	Massa específica aparente (g/cm ³)	1,58	1,90	1,83	1,78
	Absorção d'água (% em peso)	23,10	14,0	14,97	16,87
	Porosidade aparente (% em volume)	36,54	26,60	27,37	30,23
	Cor	Bege avermelhado	Vermelho claro	Rosa averm.	Rosa averm.
	Retração linear na queima (%) *	- 10,04 **	- 8,47	- 0,70	- 2,70

Módulo de Ruptura à Flexão (MPa)	36,5 **	20,3	4,5	14,5
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,31 **	2,31	1,88	1,91
Absorção d'água (% em peso)	3,17 **	3,83	12,73	13,33
Porosidade aparente (% em volume)	7,33 **	8,87	24,00	25,47
Cor	Marrom claro **	Vermelho	Rosa médio	Rosa claro

* o sinal positivo significa expansão, e o negativo retração; ** queima a 1.250°C.

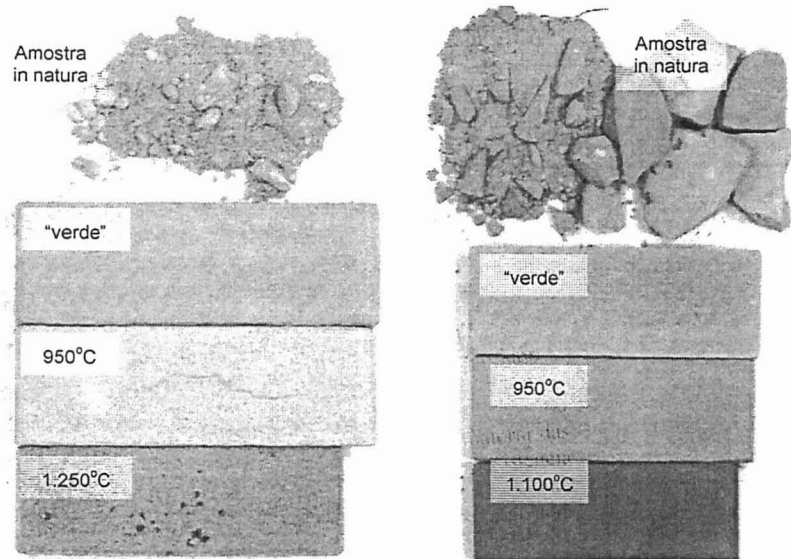


Figura 1 – Corpos-de-prova / resíduo AR06

Figura 2 – Corpos-de-prova / resíduo AR25

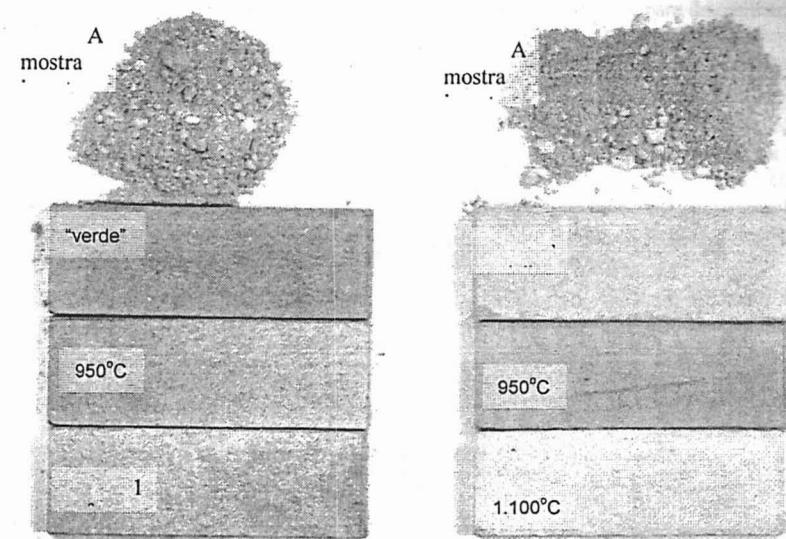


Figura 3 – Corpos-de-prova / resíduo AR42c

Figura 4 – Corpos-de-prova / resíduo AR42g

Os resíduos da mineração AR06 apresentaram resistência à flexão muito baixa a verde e a 950°C. A baixa resistência a verde faz com que ocorram problemas no fabrico das peças, dificultando o manuseio industrial e sendo necessária a adição de argilas mais plásticas, que aumentem a resistência. Em compensação, ocorre a fusão parcial a 1.250°C, com sinterização avançada nas bordas de grãos, indicando que a maioria das reações químicas acontece nesta temperatura, garantindo peças com boa resistência mecânica, pouca deformação e baixa absorção d'água, queima não muito escura, mas com perda de planaridade. Seu uso como pisos cerâmicos poderia ser feito se utilizados em proporções reduzidas, talvez de 10 a 20 % da massa total.

A amostra AR25 gerou os melhores resultados, tendo formado um produto semi-greisificado, conforme Tabela 5, que apresenta os tipos de revestimentos segmentados de acordo com os resultados de absorção d'água e resistência à flexão. A peça apresentou ótima planaridade, sem deformação, baixa absorção d'água, alta retração linear de queima e resistência mecânica dentro do limite aceitável para revestimento. Para aumentar a resistência, seria interessante a adição de argilas mais plásticas ou a elevação na temperatura de queima. Para uso em tijolos e telhas, que aceitam materiais com resistências menores e absorção d'água maior (Tabela 6), os resíduos AR25 indicam valores bem superiores aos recomendados, e os resíduos poderiam ser utilizados sem aditivos.

Tabela 5 – Tipologia das placas cerâmicas

TIPOLOGIA CERÂMICA	ABSORÇÃO D'ÁGUA (% em peso)	RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa) *
Grês porcelânico	0,0 - 0,5	> 35
Grês	0,5 - 3,0	> 30
Semi-grês	3,0 - 6,0	> 22
Semi-poroso	6,0 - 10	> 18
Piso-poroso	10 - 20	> 15
Azulejo	10 - 20	> 15
Azulejo fino	10 - 20	> 12

* Temperatura de queima: 1.100° C

Tabela 6 – Parâmetros determinativos do uso em tijolos e telhas

MASSA CERÂMICA	ABSORÇÃO D'ÁGUA (% em volume) *	RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa)	
		Secagem (110°C)	Queima (1.100°C)
Tijolos de alvenaria	-	1,4	1,8
Tijolos furados	25 %	2,3	5,0
Telhas	20 %	2,8	6,0

* (após a queima)

Os resíduos AR42c e AR42g mostraram retração linear de queima e absorção d'água semelhantes. Os fundentes estão presentes em diferentes quantidades, sendo mais do que o dobro na AR42c (4,65 %) em relação à AR42g (2,14 %), e não tiveram ação até as temperaturas de 1.100°C. Possivelmente, a temperatura necessária para ativá-los não foi atingida (ponto eutético dos minerais refratários Quartzo+K-Feldspato+Plagioclásio), acrescentando-se ao fato dos resíduos da AR42c apresentarem muscovita e flogopita em placas milimétricas, as quais diminuem a superfície de contato entre as partículas, interferindo nas reações do processo térmico. A queima deste material gera produtos com baixa resistência mecânica, baixa ligação química e presença de defeitos, que são pontos preferenciais de fraqueza.

Dos resíduos da mineração AR42, o mais interessante para aplicação em cerâmica é o material AR42g, por ser menos micáceo, bem como mais caulinitico. O melhor uso seria na confecção de azulejos e pisos claros do setor de revestimentos, fabricados pelo processo de via úmida forma em que se encontra acumulado em bacias de decantação.

6 CONCLUSÕES

Concluiu-se que os resíduos finos mostram-se de interesse para a aplicação em cerâmicas. No entanto, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos sistemáticos,

com adição de matérias-primas variadas na massa (argilas plásticas), para determinação da melhor composição / dosagem para cada tipo de material, a partir do estabelecimento de curvas de greisificação, com a correlação de retração linear *versus* absorção d'água, dentre outros estudos pormenorizados.

Alguns dos resíduos de mineração de areia seriam mais bem aplicados se acrescidos de pequena proporção de caulinita, para uso em cerâmicas brancas, ou de argilas com maiores teores de ferro para uso em revestimento e cerâmica estrutural; e em um dos casos, os resíduos nem precisam de aditivos para o uso nestes segmentos. Os finos não poderiam ser fonte de matéria-prima para o segmento de refratários devido à granulometria inadequada e baixa quantidade relativa de alumínio.

Alguns segmentos da indústria cerâmica são adequados para a assimilação dos resíduos de mineração de areia, tais como estrutural, revestimento e branca. Devido às suas características e seu desempenho, seriam necessárias adições no sentido de otimizar a massa cerâmica mas procurando utilizar a maior quantidade possível de resíduo. Ressalta-se, porém, que os resultados tecnológicos obtidos indicam mas são insuficientes para comprovar a eficiência do uso dos resíduos, e sugere-se que sejam intensificadas as pesquisas para cada um dos casos das minerações de areia, contemplando outros fatores tais como processo industrial, logística e aspectos econômicos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cuchierato, G. (2000) Caracterização Tecnológica dos resíduos da mineração de agregados da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 201p.
- Cuchierato, G.; Motta, J.F.M.; Cabral Jr., M.; Mello, I.S. de C., Braga, J.M.S. (1998) Possibilidades de aproveitamento cerâmico de resíduo silto-argiloso de mineração de areia: estudo de caso da Mineração Viterbo Machado Luz. SP. Cerâmica. 44. 285/286, p.51.
- Grego, I.B.M. (1998) Estudos dos efeitos da aditivação de argilas com tortas de filtração para produzir blocos de vedação. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. (1998), Rio Claro, 108p.
- Motta, J.F.M. (2000) As matérias-primas cerâmicas e o estudo de três casos de rochas fundentes. Rio Claro, Tese de Doutorado - Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista, 185p.
- Motta, J.F.M.; Cabral Jr. M.; Tanno, L.C. (1998) Panorama das matérias-primas utilizadas na Indústria de revestimentos cerâmicos: desafios ao setor produtivo, Cerâmica Industrial, 3, 04/06, p.30-38.
- Pradidelli, S.; Melchides, F.G. (1997) Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. Cerâmica Industrial, 2. 01/02, p.31-35.
- Santos, P. S. (1989) Ciência e tecnologia de argilas. São Paulo, Edgard Blücher, 3v.

8 AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo - Processos 98/00798-0 e 98/02917-7), pelo financiamento da bolsa de estudos e projeto de auxílio à pesquisa: ao Geólogo Dr. José Francisco Marciano Motta (Agarm/IPT) pelas discussões sobre o tema; e ao Prof. Dr. Samuel M. Toffoli, pela execução dos ensaios de cerâmica, realizados no Laboratório de Matérias-Primas Particuladas e Sólidos Não-Metálicos do PQI/POLI/USP.

DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE PARA A AGRICULTURA, NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

REGADAS, Luis Eduardo Pires (1)

(1) *Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Engenheiro Civil Centro Universitário Nove de Julho. - UNINOVE - Rua Rebouças, 11, Parque Santo Antônio, Guarulhos-SP. CEP 07062-081. E-mail: dudaregadas@hotmail.com*

Palavras Chave: Biossólido, metais pesados, fertilização do solo, macronutrientes, matéria orgânica.

RESUMO

Este trabalho aborda a disposição final do lodo, resíduo sólido gerado no processo de tratamento de esgoto, na agricultura, utilizando-o como complemento à fertilização química do solo. Trata-se de uma alternativa ao atual modelo de disposição usado na Região Metropolitana de São Paulo e que consiste no seu envio aos aterros sanitários para co-disposição junto ao lixo urbano. Assim, a disposição do lodo de esgoto na agricultura, não só colabora para aumentar a vida útil dos aterros sanitários, como promove o retorno dos nutrientes ao solo.

Entretanto, o lodo de esgoto pode apresentar elementos nocivos ao meio ambiente e que inviabilizariam o processo aqui estudado, razão pela qual se torna imprescindível o monitoramento das características do material gerado.

Serão aqui apresentadas essas características, bem como utilizados resultados de pesquisas realizadas nas Estações de Tratamento de Esgotos, como fonte de dados para análise da viabilidade técnico-operacional do modelo de disposição final apresentado para o núcleo urbano da RMSP.

1 INTRODUÇÃO

A formação de núcleos urbanos, consequência do vertiginoso desenvolvimento populacional, traz a necessidade da eliminação dos dejetos provenientes das atividades sócio-econômicas. Como exemplo, o afastamento das águas residuais (esgotos) dos centros populacionais. Inicialmente, a solução encontrada foi o lançamento desses esgotos brutos nos diferentes corpos d'água (rios, lagos e mares) e nos solos, através das fossas sépticas. Com o desenvolvimento citado acima, este lançamento *in natura* se torna problemático, trazendo custos tanto ambientais quanto econômicos.

Procurou-se assim, criar formas de tratar esses dejetos, eliminando sua carga poluidora, através da exploração de microorganismos que se proliferam naturalmente no solo e na água, digerindo as matérias orgânicas e inorgânicas existentes no esgoto, procurando, no entanto, otimizar a eficiência e minimizar os custos.