

Obtenção e Caracterização de Materiais Cerâmicos a partir de Resíduos Sólidos Industriais

**C. Modesto^{a,b}, V. Bristot^a, G. Menegali^a, M. De Brida^a,
M. Mazzucco^a, A. Mazon^a, G. Borba^a, J. Virtuoso^a,
M. Gastaldon^a, A.P. Novaes de Oliveira^{b,c}**

^a *Eliane Revestimentos Cerâmicos/Colégio Maximiliano Gaidzinski*

Rui Barbosa, s/nº, 88845-000 Cocal do Sul - SC, Brasil

e-mail: modesto@elianet.com.br

^b *SENAI/CTCmat - Centro de Tecnologia em Materiais*

^c *Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC*

Departamento de Engenharia Mecânica

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PGMAT

Resumo: Massas cerâmicas para pavimentos cerâmicos foram formuladas e preparadas a partir de resíduos sólidos gerados no processo de fabricação de placas cerâmicas de revestimento do Grupo Eliane Revestimentos Cerâmicos. As matérias-primas (resíduos e argila-plastificante) e massas obtidas, depois de adequado processamento, foram caracterizadas do ponto de vista físico e químico e, em uma etapa posterior, compactadas para a obtenção de corpos de prova. Os corpos de prova obtidos, após aplicação de ciclo de monoqueima em forno a rolos, foram caracterizados considerando propriedades típicas de produtos cerâmicos acabados. Os resultados mostram que as massas consideradas neste trabalho atendem os requisitos das normas de certificação de produtos cerâmicos acabados sendo potenciais candidatas para a obtenção de pavimentos cerâmicos “ecológicos” com propriedades e custos otimizados.

Palavras-chaves: *cerâmica, resíduos, ambiente*

1. Introdução

Ao longo de sua existência, o homem sempre utilizou os recursos naturais do planeta e gerou resíduos com pouca ou nenhuma preocupação, já que os recursos eram abundantes e a natureza aceitava passivamente os despejos realizados. A partir do século XVIII, com o surgimento da “onda” industrial¹, o modelo ou estratégia de desenvolvimento das nações consolidou suas bases técnicas e sociais. O objetivo principal era o crescimento econômico a curto prazo, mediante a utilização de novos processos produtivos e a exploração intensiva de energia e matérias-primas, cujas fontes eram consideradas ilimitadas. Este modelo gerou impressionantes excedentes de riqueza econômica, mas trouxe consigo grandes problemas sociais e ambientais, entre eles os resíduos.

A estratégia das empresas em obter melhorias de desempenho ambiental está inserida na sua função social, pois além de atender à vontade de seus clientes, melhora os relacionamentos com órgãos ambientais de controle, com as ONG's e com a sociedade em geral². Seguir apenas os padrões mínimos expressos na legislação ambiental não é considerado suficiente para manter vantagens competitivas, sobretudo no mercado externo.

A visão exclusivamente preservacionista pode e deve existir, porém deve ser limitada a regiões específicas, pois hoje é difícil a aceitação de condições de vida que signifiquem abrir mão de confortos materiais já alcançados ligados ao uso de combustível, energia e bens materiais imprescindíveis à vida moderna³. Dentro deste contexto, já

está sendo discutido um modelo econômico que considera o valor real para produtos obtidos por meio de matérias-primas não renováveis. Este modelo é denominado de “Capitalismo Natural”⁴ e, além de apresentar uma nova forma de calcular os custos industriais, também atribui o ônus do tratamento e beneficiamento dos rejeitos a seus produtores. A valorização do capital natural é de tal forma inevitável, que o Instituto Batelle (EUA)⁵ apontou o desenvolvimento da tecnologia verde (Green Integrated Technology), como uma das maiores tendências tecnológicas dos próximos vinte anos.

Realidade do Setor Cerâmico Brasileiro

Nota-se uma crescente pressão dos governos, tanto interna quanto externamente, no sentido de se adequar o desenvolvimento preconizado pelo modelo sócio econômico adotado pelo Brasil, à manutenção da qualidade ambiental e, ainda mais, recuperar essa qualidade, onde por força da atividade humana, tenha sido degradada. O país, assim como todo o mundo moderno, encontra-se no momento de reorientar as estratégias desenvolvimentistas em direção ao crescimento econômico ecologicamente sustentado.

O Brasil é considerado uma importante economia emergente mundial, com uma economia estimada em 2 trilhões de dólares apenas em biodiversidade⁶. Manter o crescimento econômico sustentável sem afetar o meio ambiente será um grande desafio para os próximos anos. Para colaborar com este novo cenário, a Constituição Federal da República de 1988 determinou na forma do art. 255, que cabe ao Poder Público assegurar a efetividade do direito de todos a um ambiente sadio. Devido a abrangência e importância do tema, o governo federal sancionou em 12 de fevereiro de 1998 a Lei nº 9.605, denominada de *Lei da Natureza*⁷. Dentro das responsabilidades do estado estaria a assistência técnica, a divulgação de informações, incentivos fiscais ou de mercado, linhas de créditos para indústrias ecologicamente corretas, etc. As empresas, por outro lado, ficam mais expostas às cobranças de posturas mais ativas com relação aos seus processos industriais, aos resíduos e efluentes produzidos e descartados e ao desempenho dos produtos e serviços com relação ao seu ciclo de vida, não sendo mais suficiente analisar apenas o processo produtivo, mas sim olhando o produto desde a matéria-prima até seu descarte final.

Com o crescimento da economia global, o Brasil também apresentou um aumento da produtividade em diversos setores da economia. Atualmente, o país já se coloca entre os cinco maiores produtores mundiais nos setores de agropecuária, aviação, eletrodomésticos e revestimentos cerâmicos. Especificamente neste último, coloca-se em 4º lugar como produtor e exportador. Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento – ANFACER, o PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro cres-

ceu 4% no ano de 2000 e contou com a contribuição do setor, que teve as exportações ampliadas em 23%⁸. O Brasil atualmente produz cerca de 428 milhões de metros quadrados de cerâmica de revestimento por ano, ficando atrás somente da China, Itália e Espanha. Deste montante, 33% da produção nacional concentra-se no sul, preponderantemente no estado de Santa Catarina.

Diferente de outros setores produtivos, o setor cerâmico utiliza-se basicamente de matérias-primas naturais. O seu produto final é, basicamente, o resultado da transformação de compostos argilominerais, como quartzo, feldspatos, calcários, etc. Além disso, as plantas de processamento cerâmico também produzem resíduos, os quais, devido às exigências técnicas dos produtos e à alta demanda do mercado, tornam suas quantidades *não* desprezíveis⁹. A vantagem das indústrias cerâmicas é que a grande parte de seus resíduos são sólidos e passíveis de manipulação e transformação.

Em países como a Itália, os resíduos das indústrias cerâmicas já são totalmente reaproveitados. Dentro desta linha, nos EUA uma recente usina de processamento foi instalada para o aproveitamento de resíduos da construção civil, dos quais fazem parte os materiais cerâmicos¹⁰. Portanto, baseado neste panorama, a transformação e o reaproveitamento dos resíduos cerâmicos para o setor no país pode ser considerado uma das prioridades.

Passivo Ambiental do Setor Cerâmico

A preocupação ambiental permeia hoje a função de todos os executivos e gestores da indústria cerâmica, principalmente aqueles que lideram empresas que são grandes utilizadoras de recursos ambientais e postulantes ao fortalecimento da imagem de suas respectivas empresas, perante seus clientes e toda sociedade. Estas empresas preocupam-se para que suas ações reflitam sua preocupação para com o desenvolvimento auto-sustentável. Isto implica dizer que este desenvolvimento empreendido e proposto para satisfazer as necessidades presentes da sociedade, não deve comprometer a capacidade das futuras gerações de também poder satisfazer suas necessidades com qualidade de vida.

As indústrias brasileiras de revestimento cerâmico têm feito, ao longo dos últimos anos, uma série de investimentos em todos os seus departamentos, tendo como objetivo tornar-se competitiva no acirrado mercado interno, assim como no mercado internacional. Estes investimentos tiveram como resultado o aumento da produtividade/qualidade, conferindo ao setor uma posição de destaque em termos de competitividade junto à indústria brasileira. Do ponto de vista ecológico uma imensa quantidade de matérias-primas naturais não renováveis é consumida a cada ano e, por conseqüência, uma quantidade proporcional de rejeitos gerados do processamento destas. No que se referem às matérias-primas, percebe-se que este problema vem

sendo solucionado com a adição de componentes alternativos ou recuperação das áreas de extração, conforme exigido no artigo 55, seção III, da lei ambiental nº 9605 de fevereiro de 1998. Entretanto, com relação ao rejeito, o problema ambiental possui uma grandeza incomensurável.

Com respeito aos rejeitos produzidos durante as várias etapas do processo, tem sido dado um destino apropriado aos mesmos. No caso da queima do carvão mineral na fornalha do atomizador, as cinzas geradas têm sido encaminhadas à indústria de cimento. Em relação aos rejeitos gerados durante as etapas de prensagem, secagem e esmaltação, as ditas “quebras” estão sendo retro-alimentadas em quantidades definidas na etapa de moagem. Entretanto, atualmente, o maior problema das empresas cerâmicas são os rejeitos gerados após a etapa de queima, denominados “chamote”. O chamote nada mais é do que o produto cerâmico acabado (revestimento, telhas, tijolos, sanitários, etc.), que apresentou falhas desqualificantes. O volume de material descartado representa, em média, 3,0% de toda a produção nacional de revestimentos cerâmicos. Correlacionando este percentual com a produção efetiva, temos 192 mil ton/ano deste tipo de material sendo disponibilizado unicamente para aterro e, claro, considerando o volume do mesmo e seus constituintes, gerando um grande problema ambiental. E a ação de concentrar este material em uma área específica (aterro) constitui-se em uma medida paliativa e também nociva. Paliativa porque com este volume de rejeitos há uma ocupação de 80 km² de área anualmente. Nociva, pois estes materiais possuem em sua cobertura, constituintes solúveis em água que representam grande periculosidade a saúde humana, como é o caso do chumbo, cádmio e outros metais pesados¹⁰. Por outro lado, o problema na reutilização do chamote reside no fato deste material queimado, por ser muito duro, ter sua introdução diretamente no processo dificultada, já que isto elevaria em muito os custos de processamento do material.

De acordo com a filosofia de reciclagem e utilização de rejeitos, que se baseia na possibilidade da máxima utilização destes, os objetivos do presente trabalho são válidos, já que podem resolver um problema de ordem técnico/econômica e ambiental. Convém recordar que a fabricação de produtos pela utilização parcial ou total de rejeitos é uma prática comum em países como os Estados Unidos, Itália, Japão e Alemanha. Além disso, fabricar produtos a partir de rejeitos é uma vantagem que coloca o fabricante em uma posição fortemente competitiva no mercado, devido à questão econômica envolvida e à oportunidade de veiculação deste princípio como marketing, principalmente no aspecto ecológico.

O Brasil, como já foi colocado, produz por ano 428 milhões de metros quadrados de revestimentos cerâmicos. Do ponto de vista econômico, levando em consideração o

custo médio de fabricação de R\$ 2,80 por metro quadrado, temos uma perda direta de R\$ 35.952.000,00 neste setor por ano. Valor mais contundente é o quanto a indústria cerâmica, com estes índices de rejeito, deixou de arrecadar se tomarmos como referência o preço médio de venda de R\$ 5,50 por metro quadrado; isto representa uma quantidade *considerável* de R\$ 70.620.000,00 por ano. Considerando o que a empresa deixou de ganhar e eventuais despesas com transporte, aterro e o impacto ambiental causado, é razoável pensar em um processo tecnológico que possa reintegrar este rejeito, em condições modificadas, novamente na produção como matéria-prima.

A Eliane Revestimentos Cerâmicos possui duas estações de tratamento de efluentes (ETE - Cocal do Sul e ETE - Criciúma), as quais centralizam todo o efluente gerado para posterior tratamento. Nestes sistemas, tem-se como produtos finais, a água clarificada que retorna para o processo produtivo e o resíduo sólido, gerando em média, cerca de 1.000 ton/mês de resíduos seco.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo principal, analisar a possibilidade de reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados como matéria-prima para a formulação de um novo produto com características de pavimento rústico gresificado.

2. Procedimento Experimental

Inicialmente foram realizadas caracterizações físicas e químicas das matérias-primas com potencial de utilização e, paralelamente, um levantamento das quantidades e características dos resíduos gerados. Tais informações serviram como dados de projeto para formulação de uma massa cerâmica para o desenvolvimento de placas cerâmicas do tipo pavimento rústico.

Preparação e Moagem das Matéria-Primas

Durante um período de 30 dias, foram recolhidas amostras diárias de resíduos, obtendo-se um montante final (500 kg úmido) de cada lodo proveniente do tratamento dos efluentes gerados pelas unidades I, II, III do grupo Eliane e tratados pela ETE – Estação de Tratamento de Efluentes, em Cocal do Sul, o qual foi denominado resíduo B, bem como, de uma segunda estação de tratamento de efluentes gerados pela unidade Porcellanato do grupo Eliane, que também gera lodo como resíduo sólido final, o qual foi denominado resíduo A.

Obtiveram-se também amostras da argila PS (400 kg úmido), recolhida na própria jazida, a qual foi escolhida para o trabalho por ser pouco utilizada nos processos fabricais atuais e por conter um percentual alto de ferro.

Todas as matérias-primas citadas anteriormente foram moídas separadamente a úmido (40%) em moinhos de bolas laboratorial (5 L) tal que a massa residual final proveniente da moagem foi inferior a 3% retido em malha com abertura de 44 µm. Após a moagem as matérias-primas foram

secas a uma temperatura de $(110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C})$ em uma estufa laboratorial por 6 h, sofrendo uma posterior desagregação e peneiradas com malhas de abertura de $2000 \mu\text{m}$, adicionando-se posteriormente 7% de umidade. Os corpos de prova com dimensões nominais de $70 \times 30 \text{ mm}$ foram obtidos por compactação, em prensa laboratorial (Prensa Gabrielli), a uma pressão específica de 250 kgf/cm^2 ($\sim 25 \text{ MPa}$). Após a compactação os corpos de prova foram mantidos em secador por 6 horas, a $(110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C})$ até peso constante. Subseqüentemente, os corpos de prova foram queimados a uma temperatura de $1115 \text{ }^\circ\text{C}$ em um ciclo de 60 min em um forno a rolo de laboratório (Forno Explorer).

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises química da argila e dos resíduos utilizados. Como se vê pela análise da Tabela 1 as matérias-primas (argila, resíduos) consideradas são típicas de composições utilizadas na formulação de massas industriais. A argila apresenta um teor de ferro relativamente elevado. No entanto, como se trata de pavimentos rústicos o efeito de coloração (cor vermelha) não vem a ser um problema. A perda ao fogo (P.F.) do mesmo modo encontra-se dentro de limites aceitáveis industrialmente.

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes às caracterizações físicas de cada matéria-prima após processo de queima. A partir da análise da Tabela 2 é possível verificar que os resíduos utilizados apresentam maiores resistências à flexão. Estes resultados são consequência da menor

granulometria destes resíduos com relação a argila PS. De fato, os resíduos apresentaram uma maior densificação que se caracteriza por uma menor absorção de água. As Figs. 1,

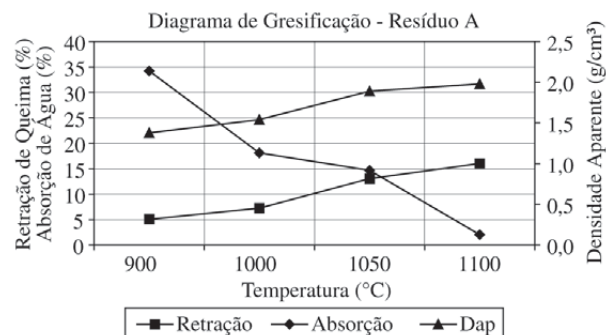


Figura 1. Diagrama de gresificação do resíduo A.

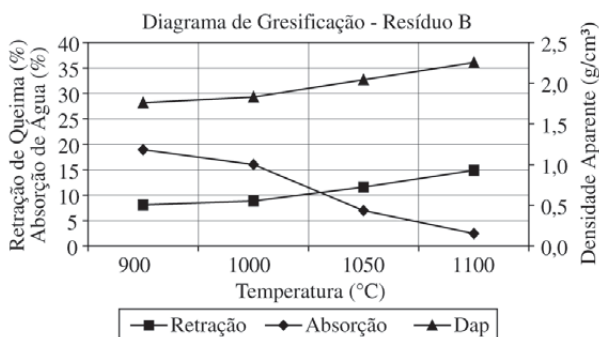


Figura 2. Diagrama de gresificação do resíduo B.

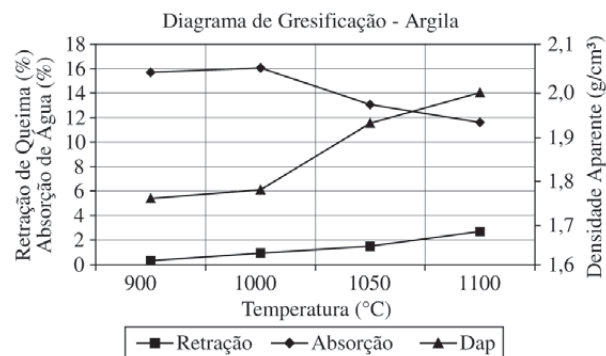


Figura 3. Diagrama de gresificação da argila PS.

Tabela 1. Análise química da argila e dos resíduos utilizados (% massa).

Elementos	Argila PS	Resíduo A	Resíduo B
SiO ₂	67,11	61,12	57,47
Al ₂ O ₃	19,88	14,18	15,56
TiO ₂	0,82	0,74	0,38
Fe ₂ O ₃	2,36	1,36	1,53
K ₂ O	2,89	4,14	2,69
Na ₂ O	0,09	1,58	1,32
CaO	0,04	0,52	4,72
MgO	0,89	6,33	2,54
P.F.	5,86	6,75	5,59

Tabela 2. Caracterização física das matérias-primas após queima.

Ensaio	Argila PS	Resíduo A	Resíduo B
Resistência à Flexão (kgf/cm ²)	448,89	471,28	646,00
Retração Linear (%)	6,30	9,19	9,47
Densidade Aparente (g/cm ³)	1,88	1,36	2,19
Perda ao Fogo (%)	6,80	7,00	5,58
Absorção de Água (%)	16,50	2,02	1,26

Tabela 3. Formulações preparadas.

Matéria-Prima	Formulação					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Argila	33	25	40	35	40	20
Resíduo A	33	50	30	40	40	50
Resíduo B	33	25	25	20	20	30

Tabela 4. Caracterização física das formulações propostas.

Ensaio	Formulações					
	F1	F2	F3	F4	F5	
Resistência Mecânica à Flexão (kgf/cm ²)	381,16	336,24	339,45	347,5	305,44	
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,16	2,13	2,00	2,09	2,06	
Absorção de Água (%)	5,23	10,48	8,8	8,65	9,72	

2 e 3, a seguir, referem-se aos diagramas de gresificação dos resíduos A e B e da argila PS, respectivamente. As retrações no intervalo de temperatura considerado variaram pouco, exceto para o resíduo A que foi um pouco mais acentuada. Este mesmo resíduo foi o que apresentou a maior faixa de estabilidade caracterizada por uma densidade aparente quase constante nos intervalos de temperaturas compreendido entre 1050 e 1100 °C.

Formulação da Massa

Após a caracterização das matérias-primas, foram preparadas seis formulações contendo diferentes percentuais de matérias-primas (Tabela 3).

Em uma etapa sucessiva as massas preparadas foram caracterizadas do ponto de vista de algumas propriedades típicas utilizando-se os mesmos métodos empregados para caracterizar as matérias-primas, exceto pela análise química que não foi necessária neste caso.

Analisando as propriedades das massas formuladas e preparadas, de acordo com a Tabela 4, destacam-se as formulações 1 e 6 em termos de resistência mecânica e também de absorção de água. A formulação 6 é a mais interessante do ponto de vista prático já que apresenta propriedades dentro de limites aplicáveis com uma relação otimizada para a demanda de resíduos atualmente gerados.

4. Conclusão

Massas cerâmicas para fabricação de placas cerâmicas foram formuladas e preparadas, a nível laboratorial, a partir de resíduos sólidos do setor cerâmico incluindo uma argila de baixo valor agregado. Os resultados mostraram que é possível compatibilizar tais resíduos para compor massas com grande potencial de aplicação e com respeito ao meio ambiente. De fato, os valores referentes às propriedades medidas encontram-se dentro dos limites requeri-

dos pelas normas de certificação, em particular a formulação 6, com propriedades otimizadas para uma dada aplicação e de acordo com a demanda de resíduos atualmente gerados.

Agradecimentos

Os autores agradecem as Empresas Eliane pelo suporte dado no desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

1. Toffler, A. *A terceira onda*, 25ª ed., Editora Record; 2001.
2. Revista expressão *Balanço social 2001*, Ano 11, n. 112, <http://www.expressao.com.br>, 2001.
3. Revista *Veja A vingança da natureza*, Ano 34, n. 15, <http://www.veja.com.br>, 2001.
4. Hawken, P.; Lovins, A.; Lovins, H. *Capitalismo natural*, Editora Cultrix, <http://www.pensamento-cultrix.com.br>, 1999.
5. Publicação Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica, *Informe ABIPTI*, Ano 22, n. 11, <http://www.abipti.org.br>, 2001.
6. Revista *Exame, O negócio do verde*, Ano 35, n 9, <http://www.exame.com.br>, 2001.
7. Ségun, E.; Carrera, F. *Leis dos crimes ambientais*, Editora Adcoas; (<http://www.adcoas.com.br>), 1999.
8. Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, *Publicação ANFACER 2001*, Gestão 2001, <http://www.anfacer.org.br>.
9. Medeiros, E.S. *Proposta para recuperação de áreas degradadas pelos depósitos sólidos gerados na indústria cerâmica*, Monografia do Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC; 1999.
10. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, *Ceramica e ambiente negli anni 90*, Pitagora Editrice Bologna, 1994.