

OBTENÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS ESTRUTURAIS COM A ADIÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

C. T. Kniess¹, P. B. Prates², H. G. Riella¹, N. C. Kuhnen¹, A. Bernardin¹, G. Martins¹

¹Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos

²Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Campus Universitário – Trindade – Florianópolis – SC

CEP: 88040-970

kniess@labtucal.ufsc.br

RESUMO

O uso de resíduos industriais no processo de fabricação de materiais cerâmicos pode, além de diminuir o impacto ambiental causado pela disposição dos rejeitos em aterros, contribuir para uma diminuição dos custos de matérias-primas. Este trabalho tem como objetivo a obtenção e caracterização de materiais cerâmicos estruturais com a adição diferentes lotes de cinzas pesadas de carvão mineral. As características químicas e mineralógicas desse subproduto o aponta como potencial fonte de matérias-prima de baixo custo para a utilização na fabricação de materiais cerâmicos. Foi realizado um planejamento experimental simplex para a obtenção das formulações dos materiais. Os resultados relacionados as propriedades físicas dos materiais (absorção de água, densidade aparente e resistência mecânica a flexão), mostraram a viabilidade da utilização da cinza pesadas de carvão mineral como matérias-prima de considerável valor agregado na obtenção das cerâmicas estruturais.

Palavras-chave: Cerâmica estrutural, resíduos industriais, planejamento experimental.

INTRODUÇÃO

As características físicas, químicas e mineralógicas das cinzas de carvão são compatíveis com várias matérias-primas utilizadas nas indústrias cerâmicas de revestimento, o que indica uma possibilidade de substituição parcial ou integral destas matérias-primas por esse subproduto. No Brasil, um forte argumento para o uso de cinzas de carvão é a quantidade gerada pela combustão dos carvões nacionais (sub-betuminoso), que pode chegar a mais de 50% em massa ⁽¹⁾. Este têm valor de mercado pelo menos quatro vezes menor que muitos minerais comerciais normalmente utilizados como matérias-primas. O custo de produção pode ser reduzido tanto em função de a matéria-prima ser um resíduo de baixo custo, como também pela sua apresentação física, considerando que a distribuição de tamanho de partícula do resíduo varia em torno de 5-200µm ⁽²⁾.

Em vários setores industriais, técnicas de planejamento de experimentos e avaliação de qualidade de produtos têm sido utilizadas. Quando as propriedades de interesse são função basicamente da combinação ou mistura de componentes, pode-se fazer uso de uma metodologia específica de experimentos com delineamento de misturas, em substituição ao desenvolvimento da formulação de misturas por meio de tentativa e erro. O delineamento experimental de misturas é um tipo especial de experimento de superfícies de resposta. Neste caso, os fatores são componentes ou ingredientes de uma mistura, e a resposta é uma função das proporções dos componentes ou ingredientes presentes⁽³⁾. Aplicações para a técnica de delineamento de mistura são encontradas em muitas áreas, como na formulação de materiais cerâmicos.

Um planejamento simplex $\{q, m\}$ para q componentes (onde m é o grau do modelo), consiste de pontos que são definidos pelo conjunto de coordenadas, onde as proporções de cada componente são tomadas $m+1$ valores igualmente espaçados de 0 a 1⁽⁴⁾. Todas as combinações possíveis são formadas usando as proporções dos componentes da Equação (A).

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad i = 1, 2, \dots, q \quad (A)$$

Com os dados do experimento, busca-se estimar uma superfície de resposta, que relaciona uma resposta do processo com os fatores de entrada. Isso é feito através da análise de regressão. As etapas de uma investigação das propriedades de uma mistura são idênticas àquelas que se emprega para sistemas com variáveis independentes. Inicia-se escolhendo um ou mais modelos para descrever as propriedades de interesse em função da composição da mistura. O ajuste do modelo aos resultados é avaliado e comparado com os resultados de modelagens alternativas. A forma escolhida para o modelo determina quais são as composições mais adequadas, do ponto de vista estatístico, para obtenção de estimativas de seus parâmetros. Os parâmetros desconhecidos ou coeficientes no modelo são estimados pelo método dos mínimos quadrados.

Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da adição de cinzas pesadas de carvão mineral nas propriedades físicas absorção de água, densidade aparente e módulo de resistência à flexão de materiais cerâmicos. Estruturais. A técnica de delineamento de mistura foi utilizada para a obtenção das formulações dos materiais cerâmicos e para a interpretação dos resultados obtidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A cinza pesada utilizada nas formulações dos materiais cerâmicos é o resíduo da queima do carvão mineral subbetuminoso na Usina Termoelétrica de Jorge Lacerda, situado no município de Capivari de Baixo, estado de Santa Catarina. Foram utilizadas o subproduto proveniente de três lotes distintos, coletados em diferentes regiões da bacia de sedimentação. Os lotes de cinza pesada bruta foram submetidos à secagem em estufa a 110°C durante 24 horas. Removeu-se a fração com teores de material carbonoso detectáveis macroscopicamente, pois a presença de carbono gera gases que podem permanecer presos, dificultando a homogeneidade da amostra.

A mistura cerâmica comercial utilizada é proveniente de uma indústria de cerâmica estrutural situada no município de Canelinha, Santa Catarina.

A determinação da composição química do subproduto industrial e da massa cerâmica comercial foi realizada através da técnica de Fluorescência de Raios X num espectrômetro de FRX Philips PW 1400 com ampola de Rh.

Considerando-se o teor de cinza (10% e 20%) e a temperatura de sinterização (900°C e 1000°C) como os fatores principais do estudo, foi planejado um experimento estatístico com três fatores (tipo cinza, percentual de cinza e temperatura de sinterização) com dois níveis (A e B; 10% e 20%; e 900°C e 1000°C) com um ponto central replicado duas vezes (AB, 15% e 950°C). A Tabela 1 apresenta a variação dos parâmetros utilizados para a obtenção dos materiais cerâmicos.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados para a obtenção dos materiais cerâmicos.

Experimento	Tipo de Cinza	Percentual de Cinza Utilizado	Temperatura de Sinterização (°C)
1	A	10	900
2	B	10	900
3	A	20	900
4	B	20	900
5	A	10	1000
6	B	10	1000
7	A	20	1000
8	B	20	1000
9(C)	AB	15	950
10(C)	AB	15	950
11(C)	AB	15	950

Com cada mistura foram preparados corpos de prova com dimensões de 100x60x5 mm³. Os corpos de prova foram obtidos por compactação uniaxial em prensa hidráulica laboratorial da marca Servitech modelo CT 320 (30 toneladas), utilizando uma pressão de compactação de 30 MPa (300 kgf/cm²).

Após a compactação, as peças foram secas em estufa com circulação de ar a 110±5°C até massa constante. Os corpos de prova foram sinterizados conforme parâmetros descritos na Tabela 1. A mistura industrial padrão foi processada utilizando os mesmos parâmetros das misturas desenvolvidas, com o objetivo de comparação das propriedades. Para a sinterização dos materiais foi utilizado um forno Linn Elektro Therm com temperatura máxima de 1300 °C.

Os ensaios de absorção de água nos corpos de prova sinterizados (ABSQ) foram realizados de acordo com a norma NBR 13818 (Anexo B, 1997)⁽⁵⁾, com imersão em água fervente durante 2 horas, utilizando uma balança KERN 410.

A resistência mecânica das após a sinterização (RMFQ), foi determinada através do módulo de ruptura à flexão em três pontos. O ensaio foi realizado conforme a norma NBR 13818⁽⁵⁾ utilizando um Flexímetro Digital EMIC.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta dos resultados de análise química dos diferentes lotes de cinzas pesadas de carvão mineral e da mistura cerâmica comercial.

Tabela 2 - Análise química dos diferentes lotes de cinzas pesadas de carvão mineral e da mistura cerâmica comercial.

Amostra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)	PF (%)
Cinza A	63,9	24,0	5,2	2,4	1,3	1,2	0,5	0,3	0,1	0,8
Cinza B	64,9	23,1	4,7	2,4	1,4	1,2	0,5	0,4	0,1	1,0
Massa Comercial	53,0	23,5	8,7	1,9	0,1	1,3	0,7	0,2	-	10,8

Para os compostos ZrO₂, BaO, P₂O₅, MnO, Rb₂O, Cr₂O₃, SrO, ZnO, NiO, CuO, Y₂O₃, Cl e Nb₂O₅ foram identificados traços, sendo desconsiderados da análise.

Pode-se observar que a pasta para telha tem composição muito semelhante às amostras de cinzas pesadas de carvão mineral. Os constituintes majoritários da cinza pesada de carvão mineral são SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, sendo que os dois primeiros representam mais de 80% do total da composição. Os percentuais de Fe₂O₃ e outras impurezas presentes na cinza pesada são baixos. Observa-se a presença de alguns constituintes minoritários como o CaO, MgO e TiO₂.

A Tabela 3 apresenta os valores das propriedades físicas dos materiais cerâmicos após a sinterização: absorção de água (ABSQ), densidade aparente (DAQ) e resistência mecânica à flexão (RMFQ).

Tabela 3 - Resultados das propriedades físicas dos materiais cerâmicos sinterizados.

Amostra	ABSQ (%)	DAQ (g/cm ³)	RMFQ (kgf/cm ²)
01	17,69	1,883	81,45
02	17,72	1,914	93,42
03	20,20	1,781	79,64
04	19,24	1,795	64,46
05	19,17	1,803	80,46
06	15,49	1,886	111,84
07	16,91	1,870	82,56
08	16,70	1,926	127,96
09	18,06	1,851	106,40
10	16,82	1,881	128,04
11	18,62	1,797	103,37

A Figura 1 representa as curvas de nível para a propriedade de ABSQ. Observa-se que os maiores efeitos sobre a propriedade de absorção de água ocorrem para as variáveis temperatura e interação entre percentual de cinza pesada e temperatura, sendo que o tipo de cinza não afeta a absorção de água dos materiais sinterizados.

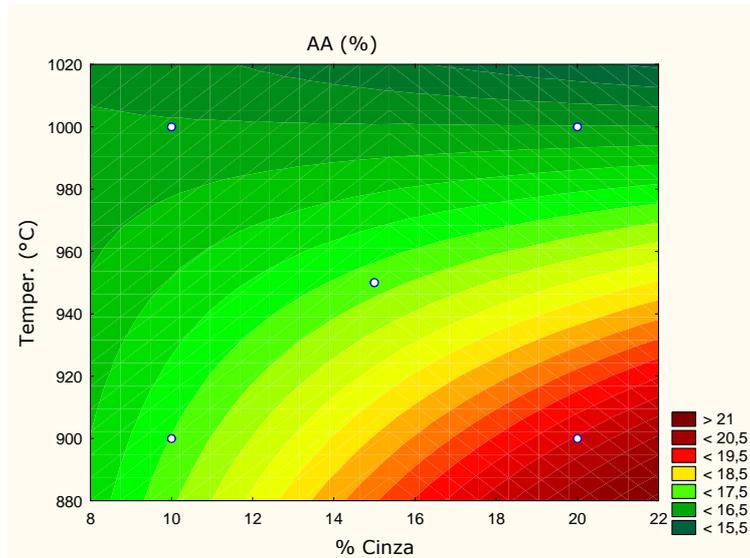


Figura 1 - Curvas de nível em função das proporções dos componentes para a propriedade de ABSQ.

A Figura 2 apresenta as curvas de nível, referentes à superfície de resposta, calculadas para os valores de DASQ. Para a densidade aparente após sinterização os melhores resultados foram para a interação entre a temperatura de sinterização e o percentual de cinzas pesadas. Para os maiores valores de densidade aparente, as melhores combinações são referentes aos menores percentuais de cinzas pesadas e menores temperaturas de sinterização ou maiores percentuais de cinzas pesadas para maiores valores de temperatura de sinterização.

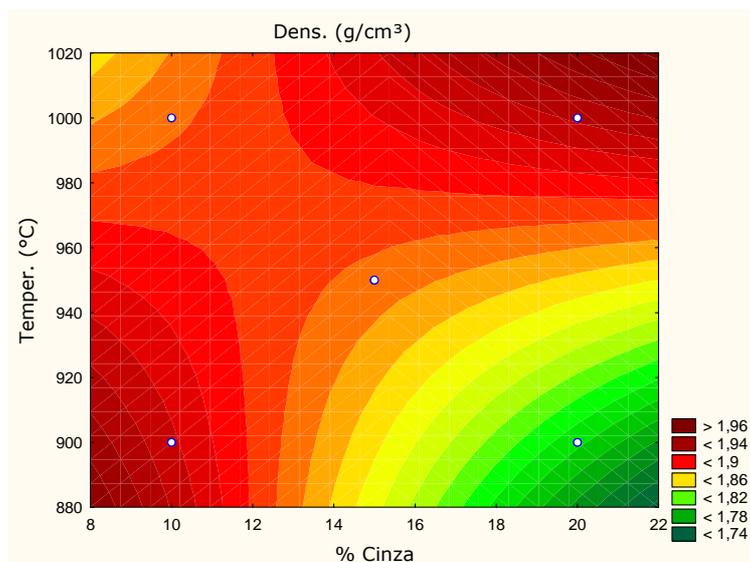


Figura 2 - Curvas de nível em função das proporções dos componentes para a propriedade de DASQ.

A Figura 3 apresenta as curvas de nível, referentes à superfície de resposta, calculadas para os valores de RMFQ. Para a resistência à flexão após sinterização, os melhores resultados são resultantes do maior valor de temperatura de sinterização. O maior valor de resistência mecânica à flexão é obtido pela adição da cinza B e sinterização em elevada temperatura.

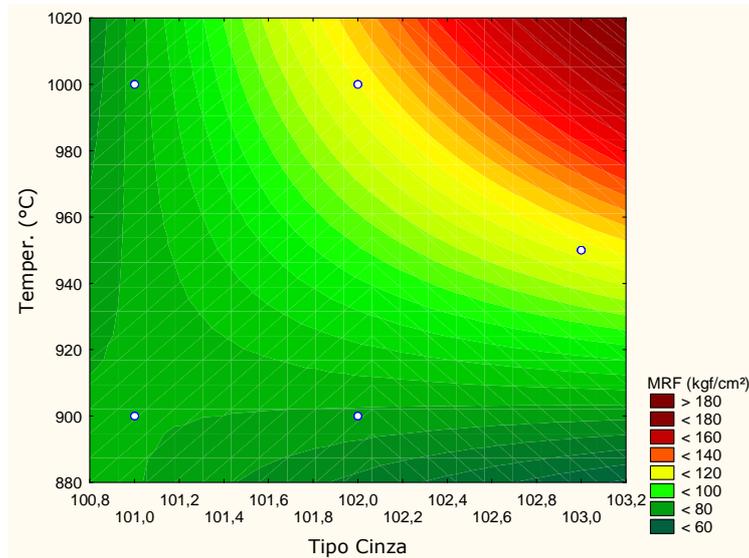


Figura 3 - Curvas de nível em função das proporções dos componentes para a propriedade de RMFQ.

CONCLUSÕES

A utilização da técnica de delineamento de misturas demonstrou ser uma valiosa ferramenta na formulação de materiais cerâmicos. A técnica facilitou a execução dos ensaios e contribuiu para a diminuição do número de experimentos.

O subproduto cinza pesada de carvão mineral mostrou ser uma atraente matéria-prima fonte de SiO_2 e Al_2O_3 para a obtenção de materiais cerâmicos.

O fator que mais afetou todas as propriedades, como esperado, é a temperatura de sinterização, sendo que para a propriedade de densidade aparente é a interação entre a temperatura de sinterização e o percentual de cinzas o fator mais importante. Considerando-se a significância estatística dos resultados para densidade aparente e para resistência mecânica à flexão, tem-se que a melhor combinação é dada para o uso da cinza B em teor de 8% quando em baixa

temperatura de sinterização (<900°C), ou teor 22% e em elevada temperatura de sinterização (>1000°C).

REFERÊNCIAS

- (1) M.A. TESSARI, N.C. CONSOLI, **Ánalyse da contaminação ambiental de camadas de cinzas pesadas de carvão tratada com cimento sob fundações superficiais**. In: **II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental – Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental**, 1998, Porto Alegre.
- (2) M. DONDI, M. MARSIGLI, B. FABBRI, **Tile & Brick Int.** 13 (1997) 218.
- (3) R.H. MYERS, D.C. MONTGOMERY, **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments**. New York: John Wiley & Sons, 2002.
- (4) J.A. CORNELL, **Experiments with mixtures: designs, models and the analysis of mixture data**. New York: John Wiley & Sons, Ed. 3, 2002.
- (5) ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818: Placas Cerâmicas para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaios**. Rio de Janeiro, 1997.

