

DETERMINAÇÃO DAS PERCENTAGENS DAS COMPONENTES DE UM NOVO PRODUTO CERÂMICO QUANDO SE IMPÕE UM VALOR MÍNIMO EM UMA DE SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

A. V. Nardi¹, J. V. Nardi²,
Serv. Edson Carminatti, 39 – Centro – Florianópolis/SC – 88015-490
aline.nardi@ifsc.edu.br

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Criciúma - SC

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Florianópolis - SC

RESUMO

A criação de um novo produto que tem origem na composição das percentagens de componentes, quando necessitamos impor valor mínimo em uma de suas propriedades mecânicas, poderá constituir sérios problemas a serem superados. Fixando-se esse valor numérico mínimo para a resistência à compressão, o objetivo desse trabalho é mostrar ser possível, em função de um pequeno número de corpos de prova, determinar o conjunto das percentagens das componentes que satisfazem essa condição no produto final. A pesquisa é desenvolvida para uma mistura ternária constituída por dois componentes cerâmicos, que reagem quimicamente com a água, formando um produto cimentante. Após a elaboração dos ensaios laboratoriais, esses valores serão representados por uma equação e gráficos superficial e espacial. O estudo poderá agora ser simulado em escritório, tendo em conta ser um desenvolvimento matemático que permite, antecipadamente, uma visão geral sobre o comportamento da propriedade mecânica desejada.

Palavras-chave: percentagens de componentes, valor mínimo, resistência à compressão, mistura ternária, produto cimentante, propriedade mecânica.

INTRODUÇÃO

A criação de um novo produto que tem origem na composição das percentagens de componentes, quando necessitamos impor valor mínimo em uma de suas propriedades mecânicas, poderá constituir sérios problemas a serem superados. O

fato de se impor valor mínimo em uma propriedade mecânica num produto, ainda inexistente, impõem a necessidade de imaginação, saber o que realmente se deseja obter, bom conhecimento teórico e laboratorial, na tentativa de superar o problema proposto.

Em projetos de misturas a metodologia de delineamento de superfície de resposta tem sido muito utilizada no desenvolvimento de novos materiais, tendo como característica a necessidade de um pequeno número de corpos de prova a serem produzidos em laboratório^{(1),(2),(3)}. Essa teoria permite associar uma equação matemática com superfícies de respostas triangular e espacial, obtidas matematicamente e graficamente através dos dados dos ensaios laboratoriais. Todas as etapas da resolução do trabalho são auxiliadas pelo software Statistica⁽⁴⁾.

Logo, o objetivo desse trabalho é mostrar ser possível, em função de pequeno número de corpos de prova, determinar o conjunto das percentagens dos componentes que satisfaça essa condição no produto final, isto é: Fixar um valor numérico mínimo para a uma propriedade mecânica desejada no desenvolvimento de novos materiais.

ESCOLHA DO MODELO MATEMÁTICO TEÓRICO

Este estudo tem como base misturas compostas por três componentes e constituídas pelas Amostra 1 (X), Amostra 2 (Y) e Amostra 3 (Z).

Foi escolhido o modelo quadrático para representar a superfície de resposta da propriedade mecânica da mistura estudada, que no caso refere-se a resistência à compressão axial estimada (R_{CE}), como mostrado na Eq. (A).

$$R_{CE} = b_1X + b_2Y + b_3Z + b_{12}XY + b_{13}XZ + b_{23}YZ \quad (A)$$

Sendo:

- R_{CE} a resistência à compressão axial estimada, simulada pelo modelo quadrático adotado, correspondendo a variável dependente;
- X, Y e Z as percentagens das componentes das Amostras 1, 2 e 3 na mistura, correspondendo as variáveis independentes;
- b_1 , b_2 , b_3 , b_{12} , b_{13} , e b_{23} os coeficientes da equação; e
- $X + Y + Z = 1$.

Neste trabalho a equação é expressa em função das coordenadas originais (proporções das misturas em percentagens), sendo os gráficos em função das pseudocomponentes (combinação das proporções dos componentes originais).

MATERIAIS E MÉTODOS

As Amostras 1 e 2 são constituídas por dois materiais cerâmicos pulverizados e a Amostra 3 um líquido (água) para a hidratação da mistura. A Tab. 1 mostra a composição química dos materiais pulverizados utilizados, os quais misturados com água reagem quimicamente, à temperatura ambiente, formando um produto cimentante.

Tabela 1. Composição química dos materiais pulverizados utilizados.

Compostos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃	P.F.
Amostra A (%)	-	-	-	71,4	-	-	-	-	28,2
Amostra B (%)	53,6	28,60	8,33	1,35	0,10	2,32	0,91	0,82	4,01

Obs.: O resíduo insolúvel da Amostra 1 é igual a 0,38 %.

A Tab. 2 mostra os intervalos de variações utilizados no estudo laboratorial para cada amostra, sendo seus valores dados em percentagens (%).

Tabela 2. Intervalo de variação das amostras estudadas.

Componentes	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Varição (%)	(11,46 a 34,25)	(40,44 a 64,23)	(16,28 a 38,88)

Dentro desses intervalos de variações obteve-se 15 misturas ternárias através de diferentes proporções, que foram comprimidas segundo a norma DNER-DPT ME 48-64, em moldes cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Após de 28 dias de cura os corpos de prova foram testados a resistência à compressão axial (R_c).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Amostra A, Amostra B e Amostra C correspondem as variáveis independentes e os resultados das resistências à compressão axial (R_c) as variáveis dependentes. O estudo laboratorial completo está resumido e apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Resultados experimentais dos estudos laboratoriais.

X (%)	Y (%)	Z (%)	R _c (kPa)	X (%)	Y (%)	Z (%)	R _c (kPa)
14,82	64,23	20,95	1.002	24,03	44,63	31,34	3.349
13,50	58,51	27,99	1.883	23,17	43,03	33,80	2.631
12,43	53,88	33,69	1.423	34,25	49,47	16,28	2.015
11,91	51,63	36,46	1.190	31,88	46,03	22,09	3.074
11,46	49,66	38,88	1.058	29,84	43,10	27,06	2.917
28,86	53,61	17,53	2.980	28,87	41,71	29,42	2.458
26,66	49,50	23,84	3.962	27,99	40,44	31,57	1.985
24,87	46,18	28,95	3.778	-	-	-	-

DETERMINAÇÃO DO MODELO QUADRÁTICO

A partir desta etapa os cálculos e figuras são auxiliados pelo software Statistica. O modelo obtido foi pelo Método dos Mínimos Quadrados, sendo representado pela Eq. (B), utilizando-se dos dados da Tab. 3. Representa a resistência à compressão axial estimada (R_{CE}) em função das percentagens dos componentes X, Y e Z na mistura.

$$R_{CE} = - 1023,47x - 348,67y - 717,35z + 23,88xy + 19,41xz + 18,34yz \quad (B)$$

Obs.: O coeficiente de correlação (R²) da equação é igual a 0,96.

DETERMINAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE RESPOSTAS

A Eq. B gera o gráfico espacial visualizado na Fig. 1, o qual simula antecipadamente

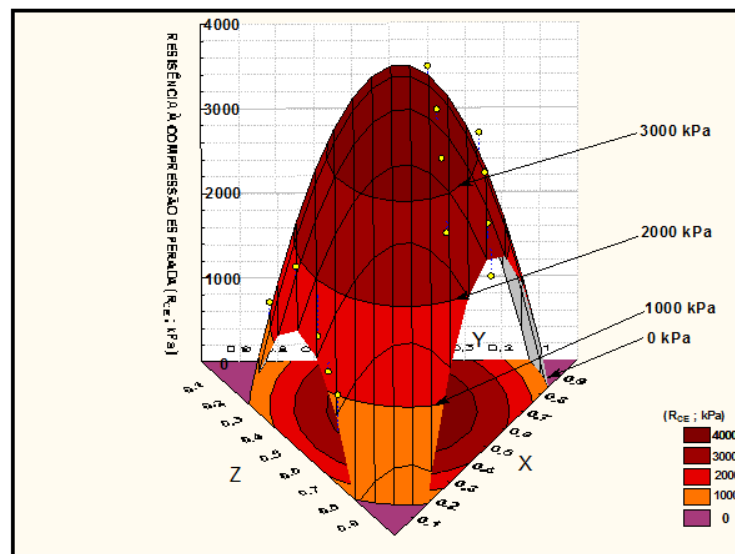


Figura 1. Representação gráfica das superfícies de respostas triangular e espacial.

os resultados da propriedade mecânica desejada no novo material. Os valores das componentes das misturas (X, Y e Z) são lidos nos eixos do gráfico triangular e os valores das suas respectivas resistências à compressão axial esperada (R_{CE}) no eixo vertical a superfície triangular.

IMPOSIÇÃO DE VALOR MÍNIMO EM UMA PROPRIEDADE MECÂNICA

A imposição de valor mínimo em uma propriedade mecânica desejada é visualizada na Fig. 2, e correspondem às regiões superficial e espacial representadas em negrito. Segundo a proposta inicial do trabalho deseja-se impor um valor mínimo em uma de suas propriedades mecânicas, tendo sido escolhida a resistência à compressão axial esperada. Para tal necessário se faz a determinação do conjunto das percentagens dos componentes que satisfaça essa condição no produto final. Para exemplificar escolhe-se 3.000 kPa o valor mínimo admissível no produto final. Para tal necessário se faz interceptar, a figura espacial e o eixo das resistências, com um plano paralelo a base triangular e com o valor de 3.000 kPa. Todas as combinações entre as componentes, acima dessa secção, terão valores superiores ao mínimo da resistência especificada.

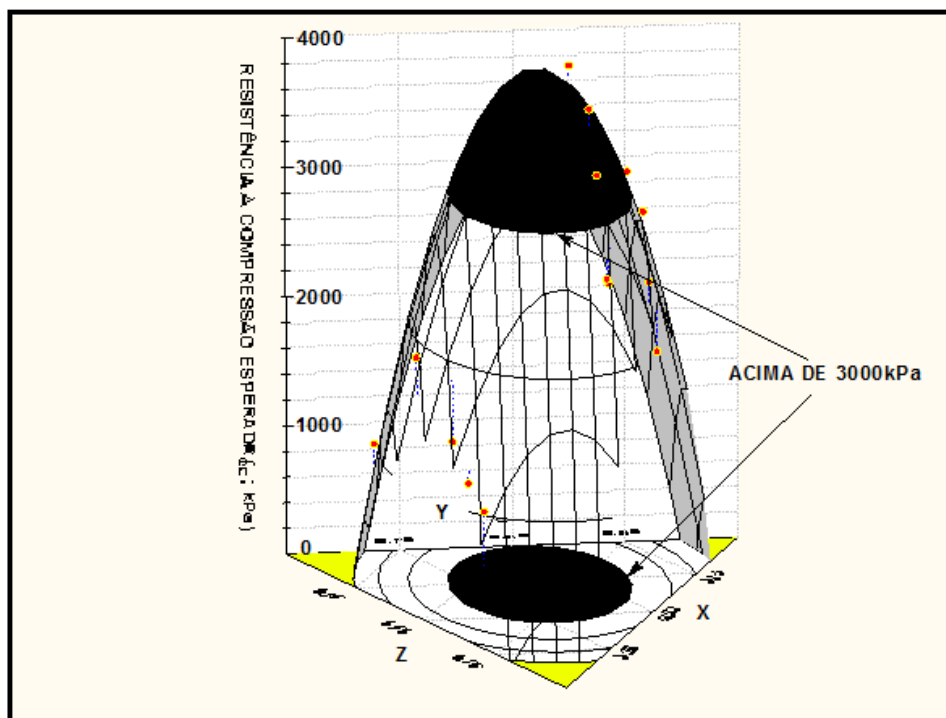


Figura 2. Representação superficial e espacial de todos os valores das resistências à compressão axial esperada acima de 3.000 kPa.

RESOLUÇÃO FINAL DA IMPOSIÇÃO

A Fig. 3 representa a solução final da imposição. A região interna da figura oval, em vermelho, contém todas as combinações desejadas entre as componentes. Nesta superfície localizam-se os valores mínimos e máximos da Amostra X (pontos a, b), Amostra Y (pontos c, d) e Amostra Z (pontos e, f).

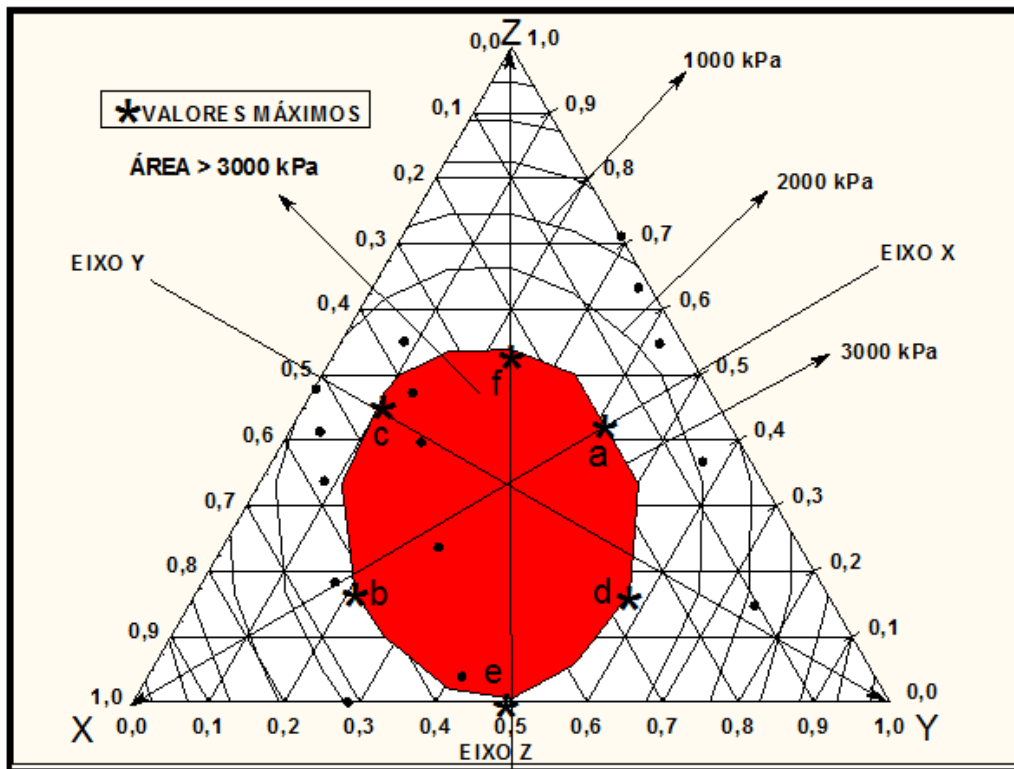


Figura 3. Representação superficial triangular dos valores acima de 3.000 kPa, correspondendo a solução gráfica do problema.

O passo seguinte consiste em ler os valores mínimos e máximos de cada amostra diretamente nos eixos triangulares X, Y e Z, obtendo-se dessa forma a Tab. 4.

Tabela 4. Valores mínimos e máximos das amostras, em pseudocomponentes, obtidos diretamente no gráfico triangular da Fig. 3.

PSEUDOCOMPONENTES				PSEUDOCOMPONENTES			
MÍNIMOS	X'	Y'	Z'	MÁXIMOS	X'	Y'	Z'
PONTO a	0,18	0,41	0,41	PONTO b	0,62	0,21	0,17
PONTO c	0,45	0,10	0,45	PONTO d	0,27	0,57	0,16
PONTO e	0,49	0,49	0,02	PONTO f	0,23	0,23	0,54

Observar que todos os gráficos foram elaborados em função das pseudocomponentes, necessário se faz agora a transformação para as coordenadas originais (valores dados em percentagens), como mostrado na Tab. 5. Substituindo-se as coordenadas originais na Eq. (B) obtém-se as resistências axiais esperadas (R_{CE} ; kPa).

Tabela 5. Valores da Tab. 4 em coordenadas originais e suas resistências (R_{CE} ; kPa).

PONTOS	COORDENADAS ORIGINAIS			R_{CE} (kPa)	PONTOS	COORDENADAS ORIGINAIS			R_{CE} (kPa)
	X	Y	Z			X	Y	Z	
a	17,19	53,49	29,32	3.235	b	31,19	47,12	21,69	3.067
c	25,78	43,62	30,60	3.108	d	20,05	58,58	21,37	3.055
e	27,05	56,03	16,92	3.112	f	18,78	47,76	33,46	3.056

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS FINAIS

A superfície oval no interior da Fig. 3 intercepta o eixo X do gráfico triangular nos pontos (a, b). Na Tab. 5 verifica-se que os valores de X variam de 17,19 % (mínimo) a 31,19 % (máximo). Da mesma forma no eixo Y para os pontos (c, d), Y poderá variar de 43,62 (mínimo) a 58,58% (máximo) e no eixo Z para os pontos (e, f), Z variar de 16,92 % (mínimo) a 33,46 % (máximo). Quaisquer combinações entre as percentagens das amostras, dentro desses intervalos, substituídos na Eq. B fornecerão para resistência axial esperada (R_{CE}) valores superiores a 3.000 kPa.

CONCLUSÃO

Quaisquer combinações ternárias dos valores, dados em percentagens, para as amostras compreendidas entre os intervalos:

$$(17,19 < X < 31,19)$$

$$(43,62 < Y < 58,58)$$

$$(16,92 < Z < 33,46)$$

satisfazem as condições impostas para um valor de resistência à compressão axial esperada superior a 3.000 kPa. O estudo poderá agora ser simulado em escritório, tendo em conta ser um desenvolvimento matemático que permite, antecipadamente, uma visão geral sobre o comportamento da propriedade mecânica desejada. Como acima demonstrado, conclui-se ser possível, em função de um pequeno número de corpos de prova, delimitar um conjunto de percentagens das componentes que satisfaçam um valor mínimo, em uma de suas propriedades físicas escolhida, na elaboração de novos materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CORNELL, J. A. *Experiments with Mixtures: Designs, Models and the Analysis of Mixture Data*. 2. ed. New York, Wiley, 1990.
2. MONTGOMERY, A. D. *Design and Analysis of Experiments*. 4 ed. New York, Wiley, 1996.
3. NARDI, J. V.; ACCHAR, W.; HOTZA, D. Enhancing the Properties of Ceramic Products Through Mixture Design and Response Surface Analysis. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 24, p. 375-379, 2004.
4. STATSOFT, INC. *Statistica. Industrial Statistics*. Volume IV, Printed in the United States of America, 1995.

DETERMINATION OF PERCENTAGES OF THE COMPONENTS OF A NEW CERAMIC PRODUCT WHEN IT IMPOSES A MINIMUM VALUE IN ONE OF ITS MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT

The creation of a new product that comes from the composition of the component percentages, when it is necessary to impose a minimum value in one of its mechanical properties, may constitute serious problems to overcome. Setting up this minimum numerical value for the compressive strength, this paper aims to show to be possible, in function to a small number of specimens, determine the set of percentages of the components that satisfies this condition in the final product. This search is developed for a ternary mixture constituted per two ceramic components, that chemically react with water, in order to form a cementing product. After the development of laboratory tests, these values will be represented by an equation, as well as one surface graphic and also one spatial graphic. The study can now be simulated in office, taking into account be a mathematical development that enables, in advance, an overview of the behavior of the desired mechanical property.

Key-words: component percentages, minimum value, compressive strength, ternary mixture, cement product, mechanical property.