

## Estudo do resíduo de granito Rosa Iracema como componente de funis de saída da indústria têxtil: planejamento experimental em rede simplex para massa unitária em estado solto

Joseanne A. Sousa<sup>1</sup>; Cândido J. S. Lobo<sup>1</sup>; Halisson S. Pinheiro<sup>\*2</sup>; Ricardo E. F. Q. Nogueira<sup>3</sup>; J.L. Cardoso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará - UFC – CEP 62900-000, Russas, CE

<sup>2</sup>Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira – UNILAB – CEP 62790-00, Redenção, CE

<sup>3</sup>Universidade Federal do Ceará - UFC – CEP 60440-554, Fortaleza, CE

\*e-mail: halisson@unilab.edu.br

### RESUMO

O Brasil está entre os seis maiores produtores mundiais de rochas ornamentais tendo 40% da sua produção voltada aos granitos. Paralelo a produção dessas rochas, a indústria gera enormes quantidades de resíduos sólidos poluentes que afetam tanto a vida animal quanto a vegetação que interage no processo de descarte deste resíduo. Desta forma, é relevante a necessidade de alternativas de reaproveitamento deste rejeito afim de reduzir os impactos ambientais causados e maximizar os benefícios da produção. Pesquisas anteriores apontaram a utilização dos resíduos de granito como substituto das cerâmicas sintéticas diante da sua composição muitas vezes rica em sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ). Neste contexto, o presente trabalho usa o planejamento experimental em rede simplex para analisar a massa unitária em estado solto da mistura com resíduo do Granito Rosa Iracema, sílica e alumina objetivando a utilização do resíduo em funis de saída da fiação a rotor usado na indústria têxtil. A metodologia proposta passa inicialmente pela caracterização dos pós por difração de raios - x (DRX), análise química por fluorescência de raios - x, área superficial específica (BET) utilizada para determinação do diâmetro médio de partícula. O método simplex foi desenvolvido para massa específica no estado solto e para obter um parâmetro comparativo com o produto proposto, a composição escolhida pelo método como ideal foi compactada e sinterizada para obtenção da dureza. Os resultados indicaram que é possível utilizar cerca de 20% de rejeito do granito Rosa Iracema na composição de fabricação do funil sem que haja perda significativa da massa unitária do pó solto. Desta forma, o resíduo do granito Rosa Iracema pode substituir parcialmente os agregados industrializados utilizados na fabricação do funil.

**Palavras-chave:** Resíduo de rocha ornamental, massa unitária em estado solto, indústria têxtil, rede simplex.

### 1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais são os tipos litológicos que podem ser extraídos em forma de blocos submetidos a diferentes graus e/ou tipos de beneficiamento ou afeiçoamento utilizado para exercer uma função estética [1,2]. Em 2011, o Brasil foi classificado como o sexto maior produtor mundial de rochas ornamentais [3]. Dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS) mostram que o Brasil já evoluiu e aparece em quarto lugar com aproximadamente 6% da produção Mundial. A indústria de rochas ornamentais

contribui para o desenvolvimento econômico e social brasileiro com a criação de milhares de empregos diretos e indiretos. Durante o ano de 2016, a produção brasileira foi de 2,49 milhões de toneladas com USD 1.138,3 milhões de faturamento [4].

No entanto, paralelo à produção dessas rochas há a produção de rejeitos dessa indústria, bem como os impactos ambientais por ele causados. O impacto gerado pelos resíduos durante o beneficiamento é na forma de polpa abrasiva, chamada de lama, resultante da ação de teares e que precisam ser descartados [5]. Esta lama, causa o assoreamento dos rios e a poluição das águas, assim, comprometendo a vegetação e a vida animal no ambiente e é muitas vezes rica em sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) [6]. Com efeito, os resíduos das rochas ornamentais são classificados como Classe II – Não Inerte [7]. Este fato reforça a necessidade de novas alternativas para a disposição final destes resíduos, reduzindo os impactos ambientais e maximizando os benefícios da produção.

A produção cearense de rochas em 2016 foi de 125.000 toneladas com 40% deste total correspondente aos granitos [8]. Os granitos são rochas ácidas plutônicas, que formam a maior parte dos batólitos em núcleos de cadeias montanhosas resultantes do lento processo de resfriamento e solidificação do magma, além de possuírem beleza visual, são mais resistentes, não perdendo o brilho de polimento durante longos anos. [9-11].

A produção granítica da Serra da Meruoca (região de Sobral-CE) com cerca de 10 jazidas de extração e produção que varia entre 200 e 1000  $\text{m}^3/\text{mês}$ . Em torno de 70% dessa produção é considerada rejeito e é depositado em montanhas sem nenhuma finalidade definida. Estes resíduos possuem tamanhos variados, desde blocos até a granulometria de pó. Alguns destes depositados de maneira ilícita em lagoas e drenagem, causando obstrução de córregos e rios [12].

Pesquisas anteriores apontaram possíveis soluções para esse problema, utilizando os resíduos de granito como substituto das cerâmicas sintéticas [5,10]. A indústria têxtil usa uma variedade de peças produzidas com cerâmica sintética como matéria-prima, pois demanda alta resistência ao desgaste e a altas temperaturas. Com isso, é relevante o alto custo dessas peças, que ainda não possui fabricantes nacionais, o que contribui para o alto custo dos produtos têxteis. O funil a rotor faz parte do processo de fiação Open-End que é por onde o fio é retirado e desviado em  $90^\circ$  durante este processo. O funil é também determinante para a qualidade do fio e responsável pela estabilidade de fiação [13].

A grande maioria dos processos de fabricação de peças cerâmicas possui a matéria prima na forma de pó, para facilitar a obtenção de formas complexas de peças. As propriedades mecânicas do produto final são diretamente influenciadas pelas condições de seus componentes. Na fiação à rotor as peças cerâmicas ficam em contato direto com o fio, que se movimenta em velocidades acima de 1200 m/min, gerando desgaste excessivo desses componentes. A dureza é fator determinante na resistência ao desgaste das peças, tornando-se indispensável esforços para minimizar a presença de poros, e assim aumentar a densidade dos produtos. Para isso busca-se, já a partir dos pós no estado solto, uma combinação dos componentes que permita uma maior compacidade, que atribua maiores propriedades mecânicas ao produto final.

Este trabalho tem como objetivo utilizar o planejamento experimental em rede simplex, aplicado ao estudo de misturas, para avaliar o comportamento da massa unitária no estado solto da mistura de três materiais: Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e resíduos do granito Rosa Iracema (GRI), visando a sua utilização na produção do funil de saída da fiação a rotor na indústria têxtil.

## 2. MATERIAIS E METODOS

Neste trabalho foram utilizados resíduos do granito Rosa Iracema, procedente do Noroeste do estado do Ceará, microrregião de Sobral, com jazida de aproximadamente 8 km de diâmetro situada na Serra do Barriga no Município de Forquilha. O resíduo é proveniente da serragem de blocos de granito, etapa do processo produtivo na indústria de rochas ornamentais e foi coletado seguindo a norma ABNT NBR 100007 [14]. A alumina usada é a RC HTP DBM da fabricante Reynolds e a sílica utilizada é proveniente da mesma região do resíduo. O resíduo e a sílica foram submetidos a secagem em estufa a  $110^\circ\text{C}$  por 24 h, e posteriormente o resíduo foi desagregado e homogeneizado.

Os pós passaram por análise química sendo utilizado um espectrômetro por fluorescência de raios X, modelo Axios Advanced PANalytical, processado e efetuado à temperatura de  $1.000^\circ\text{C}$  por 30 minutos. Os dados de difração de raios - x (DRX) foram obtidos à temperatura ambiente usando um difratômetro do tipo Rigaku usando como fonte de radiação  $K\alpha$  do elemento Cobre (Cu),  $\lambda=1,54056 \text{ \AA}$  a 40 kV e 30 mA. A escala de

varredura (em  $2\Theta$ ) foi de  $0,02^\circ$  e o tempo de medida de cada ponto foi de 1s, para determinação da mineralogia da amostra de resíduo.

Foi realizado, por método Brunauer-Emmett-Teller (BET), a área de superfície específica por adsorção de  $N_2$  em um equipamento Micromeritics ASAP 2020 após tratamento a  $300^\circ\text{C}$  sob vácuo por 5 h. De acordo com os resultados de BET foi determinado e o diâmetro médio das partículas dos componentes pela equação A [15].

$$D_{(nm)} = \frac{6000}{\rho A_s} \quad (A)$$

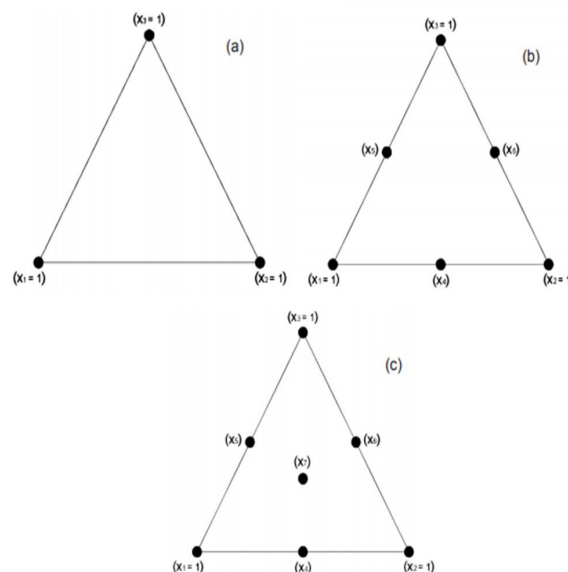
Onde:  $D_{(nm)}$  é o diâmetro médio das partículas medido em nanômetros;  $\rho$  é a densidade da fase e  $A_s$  é a área superficial específica do material obtida pelo BET.

A metodologia utilizada para o planejamento do experimento foi em rede Simplex [16,17]. O método calculou matematicamente as proporções dos materiais para realização dos ensaios, e após o modelo adequado ser estabelecido, calculou-se sua eficiência por meio da Análise de Variância (ANOVA) [18].

As proporções  $x_i$  dos componentes da mistura obedecem a Equação B na qual  $q$  representa o número de componentes da mistura.

$$\sum_{i=1}^{q=3} x_i = 1,0 \quad (B)$$

Para a determinação da superfície de resposta da massa unitária no estado seco foram adotados três modelos numéricos e a quantidade de pontos experimentais mínimos (Figura 1): linear (3 pontos), quadrático (6 pontos) e cúbico simples (7 pontos).



**Figura 1:** Pontos para obtenção dos modelos testados: a) linear; b) quadrática e c) cúbica simples

O modelo polinomial é representado por uma única Equação matricial  $C$  na qual  $X$  e  $b$  são matrizes que contém, respectivamente, os valores previstos pelo modelo para  $y$ , a composição das misturas e os valores estimativos dos parâmetros  $b$ 's.

$$\hat{y} = Xb \quad (C)$$

Portanto, os parâmetros  $b$ 's são calculados através da equação matricial  $D$  isolando a matriz  $b$ .

$$X^t Xb = X^t \hat{y} \quad (D)$$

Os pontos experimentais foram obtidos seguindo a norma DNER-ME 152/1995 [19].

Para análise de dureza foram compactados 4 corpos de prova com a composição indicada pelo método simplex, homogêneos em um misturador simples com rotação de baixa energia (25 rpm). Após homogênea, foi

realizada a compactação uniaxial em um molde cilíndrico de 15 mm de diâmetro da cavidade compactação, composto por um pistão, matriz e base conforme figura 2. Para a aplicação da carga de compactação dos corpos de prova foi utilizada uma máquina de ensaio universal da marca EMIC com capacidade de 300 kN presente no laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará Campus de Russas. A pressão de compactação usada foi de 3000 kgf/cm<sup>2</sup>.



**Figura 2:** Molde metálico para compactação dos corpos de prova.

Para a sinterização à 1500 °C com taxa de aquecimento de 5 °C/min e permanência à temperatura indicada por 2 h, foi utilizado um forno tipo mufla de alta temperatura da marca EDG equipamentos, disponível no Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAM) da Universidade Federal do Ceará, conforme mostrado na figura 3.



**Figura 3:** Forno Mufla EDG de alta temperatura.

A dureza foi calculada ao longo da área plana do cilindro com 8 medidas para cada corpo de prova. Para as medidas dos ensaios, utilizou-se o durômetro SUSSEN WOLPERT do Laboratório de Ensaios Mecânicos do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará.

### 3. RESULTADOS

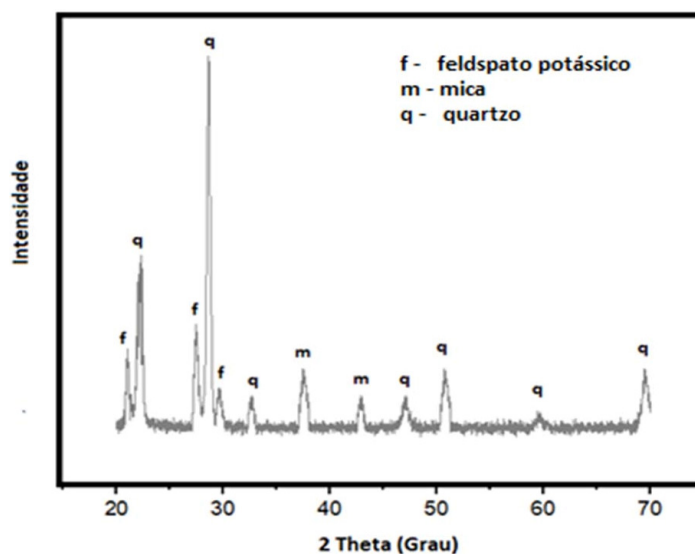
Os dados obtidos da composição química estão na Tabela 1. Os funis selecionados apresentam em sua composição básica, alumina ( $Al_2O_3$ ) e Sílica ( $SiO_2$ ). Já o resíduo de granito Rosa Iracema é constituído de sílica ( $SiO_2$ ), alumina ( $Al_2O_3$ ) e óxido de potássio ( $K_2O$ ).

**Tabela 1:** Composição química dos funis KN4 e KS-K4A, areia e rejeito de granito.

COMPOSIÇÃO	% EM MASSA			
	FUNIL KN4	FUNIL KS-K4A	AREIA	GRI
$Al_2O_3$	80,62	94,74	3,17	9,40
$SiO_2$	19,00	5,10	96,35	80,12
CaO	0,22	0,16		1,08
$Fe_2O_3$				0,63
$K_2O$			0,47	9,15
$Rb_2O$				0,43

A areia selecionada possui elevado teor de sílica ( $SiO_2$ ), contendo maior valor agregado por sua alta capacidade de vitrificação, propriedade importante para aplicação em funis da indústria têxtil [19].

A Figura 4 mostra o difratograma para o rejeito de granito Rosa Iracema. Análise mineralógica qualitativa por difração de raios X indicou as presenças das seguintes fases cristalinas: sílica (quartzo), feldspato potássico (microclínio) e mica, o qual corrobora os dados de composição química. A hematita e a calcita não apareceram no espectro devido a seu pequeno percentual na composição.



**Figura 4** – Difratograma de raios X para o rejeito do granito Rosa Iracema.

Os resultados para a área superficial específica foram obtidos pelo método de caracterização BET que permite obter o diâmetro médio de partícula [15]. Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que a alumina (RC HPT DBM, da empresa Reynolds) possui diâmetro médio manométrico (30 nm), contribuindo para uma maior densidade do pó no estado solto. As partículas de sílica e rejeito de granito Rosa Iracema são de ordem micrométrica (2,46  $\mu m$  e 1,98  $\mu m$  respectivamente) [20].

**Tabela 2:** Valores da área superficial e do diâmetro médio das partículas.

AMOSTRA	ÁREA SUPERFICIAL ( $m^2/g$ )	TAMANHO MÉDIO DE PARTÍCULA (nm)
$Al_2O_3$	49.85	30.47
$SiO_2$	1.14	2497.10
GRI	0.95	1986.10

Os dados obtidos da literatura para a massa específica real são: Alumina ( $3,95 \text{ g/cm}^3$ ), Sílica ( $2,65 \text{ g/cm}^3$ ) e rejeito de granito Rosa Iracema ( $2,70 \text{ g/cm}^3$ ) [20-22]. Na Figura 5 estão apresentados os 7 pontos para a composição das misturas e determinação da superfície de resposta. A expansão das matrizes do método simplex foi feita para obtenção das equações dos modelos com seus respectivos parâmetros calculados.

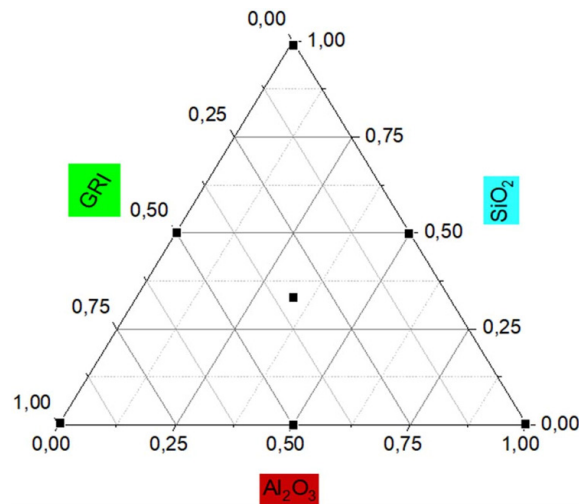


Figura 5 – Composições experimentais para determinação da massa unitária no estado solto.

Utilizando como parâmetro a composição das misturas (Figura 5) foram gerados por meio de planejamento experimental os seguintes modelos matemáticos: modelo linear, modelo quadrático e modelo cúbico especial. Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos a partir das propostas experimentais para cada modelo. A tabela mostra que no somatório absoluto de erros, o modelo cúbico especial apresenta o menor índice de erro (0,01) em relação aos linear e quadrático.

Tabela 3 - Comparação entre valores de Massa unitária no estado solto observados e previstos nos modelos ( $\text{g/cm}^3$ ).

X1	X2	X3	Y	Y	Y	Y
( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	( $\text{SiO}_2$ )	(GRI)	Linear	Quadrático	Cúbico especial	Experimental
1	0	0	2.35	2.35	2.35	2.35
0	1	0	1.65	1.65	1.65	1.65
0	0	1	1.85	1.85	1.85	1.85
1/2	1/2	0	2.05	2.05	2.05	2.05
1/2	0	1/2	2.10	2.15	2.15	2.15
0	1/2	1/2	1.75	1.70	1.70	1.70
1/3	1/3	1/3	1.93	1.95	1.84	1.85
Somatório dos erros		e	0.23	0.10	0.01	-
(Modelo x Experimental)						

A análise de variância (ANOVA) para os modelos testados estão dispostos na tabela 4. Verifica-se que o modelo cúbico especial apresentou o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que foi da ordem de 98,69%. Nota-se que o modelo cúbico especial possui parâmetro próximo da unidade, mostrando um maior ajuste do modelo aos dados observados. Isto significa que esse modelo apresenta maior homogeneidade e maior confiabilidade, de forma que o modelo cúbico especial será usado daqui por diante para determinação da superfície de resposta para a massa unitária no estado solto das misturas.

Tabela 4 – Teste ANOVA para os modelos testados.

PARÂMETROS	MODELOS USADOS		
	LINEAR	QUADRÁTICO	CÚBICO ESPECIAL
$SQ_R$	0.2601	0.3535	0.3791
G.L	2	5	6
$SQ_T$	0.3841	0.3841	0.3841
G.L	47	47	47
$R^2$	67.73%	92.03%	98.69%

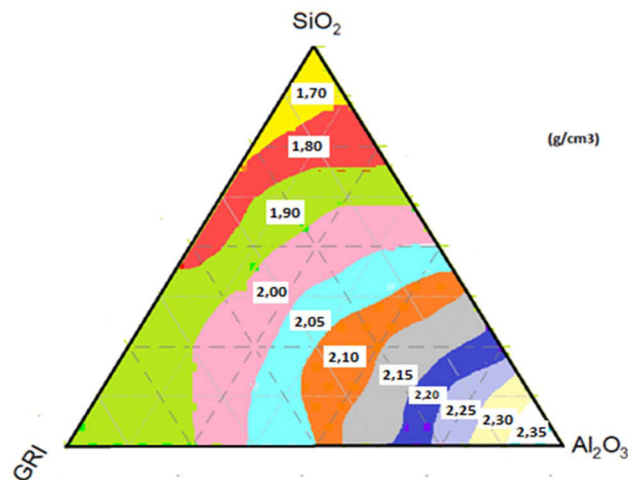
$SQ_R$  = soma quadrática de regressão;  $SQ_T$  = soma quadrática total; G.L = graus de liberdade e  $R^2$  = % de variação explicável.

A equação para o modelo cúbico especial é dada por:

$$y = 2.35x_1 + 1.65x_2 + 1.85x_3 + 0.20x_1x_2 + 0.20x_1x_3 - 0.20x_2x_3 - 3.26x_1x_2x_3 \quad (E)$$

A relação que garante que a regressão é útil e aplicável experimentalmente ocorre entre as médias quadráticas (regressão- MQR e resíduos- MQR [24]). MQR = 0.06318 e MQR = 0.0019 e o quociente MQR/MQR = 33.25. O valor da relação entre as médias quadráticas (regressão e resíduos) deve ser comparado com o valor do teste F tabelado ( $F_{46,6} = 2.77$ ). Quanto maior for essa relação maior o ajuste do modelo. A relação obtida pelo modelo cúbico especial é cerca de 12 vezes o valor tabelado, convergindo para a eficiência e confiabilidade do modelo.

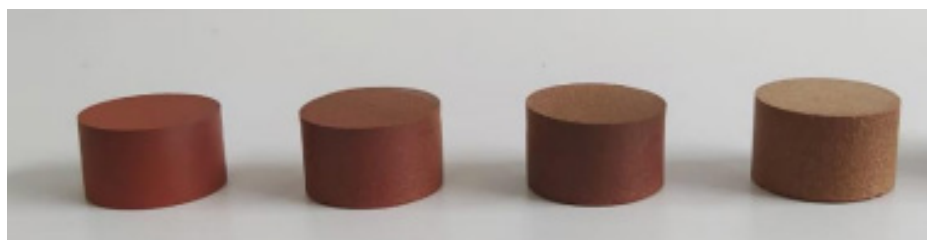
A Figura 6 apresenta a superfície de resposta obtida por meio do modelo cúbico especial, para os dados medidos para a propriedade analisada (massa unitária no estado solto). Nesta figura os componentes alumina, sílica (areia) e rejeito de granito Rosa Iracema representados nos vértices do triângulo de superfície de resposta correspondem às proporções máximas de 100% respectivamente em massa de cada elemento da mistura.



**Figura 6** - Superfície de resposta obtida pelo modelo cúbico especial para a massa unitária no estado solto.

A superfície mostrada na figura 6 revela que quanto maiores os percentuais de alumina na mistura, maior é a propriedade, obviamente pela característica do pó da alumina em relação aos demais constituintes com maior densidade real e menor tamanho médio de partícula. Entretanto é possível obter valores próximos a 2.20 g/cm<sup>3</sup> utilizando 20% em massa do rejeito do granito (70% alumina e 10% de sílica), que atenderia satisfatoriamente os níveis de massa unitária no estado solto da composição do funil KN4 (81% alumina e 19% sílica), em face ao objetivo do estudo de dar utilidade ao rejeito do granito.

O resultado da sinterização mostra um corpo de prova sem perda da forma cilíndrica, o que indica uma sinterabilidade sem grandes variações dimensionais e pequenas contrações volumétricas, como dispostas na figura 7.



**Figura 7** - Corpos de prova sinterizado (Pressão de compactação= 3000 kgf/cm<sup>2</sup>; temp. sinterização = 1500°C)

O resultado de dureza do corpo de prova proposto (70% alumina, 10% sílica e 20% areia) apresentou dureza média de 1320 ± 40 HV. O Funil KN4 apresentou dureza média de 1370 ± 20 HV e o funil KS-K4A apresentou dureza média de 1350 ± 20 HV. Os resultados mostraram que o nível de dureza média dos corpos de prova são semelhantes as durezas dos produtos estudados, viabilizando a utilização do rejeito sem prejuízo significativo para essa característica importante para o desempenho do produto.

## 4. CONCLUSÃO

O modelo experimental desenvolvido mostrou elevado nível de ajuste com a propriedade proposta. Pode-se concluir que para a massa unitária no estado solto, as composições sofrem interferências mínimas de variáveis externas, evidenciando grande afinidade com as características físicas dos pós como tamanho e formato de partícula, além da densidade real de cada componente. De acordo com a superfície de resposta é possível utilizar em torno de 20% de rejeito de granito na composição de fabricação do funil sem que haja perda significativa da massa unitária no estado solto. Apesar da ausência de informações tecnológicas do processo de obtenção dos funis comercializados e possível obter resultados aproximados de dureza, resguardando as composições dos produtos propostos. Portanto, o resíduo do beneficiamento do granito Rosa Iracema se credencia a ser utilizado como material na composição em substituição parcial a agregados industrializados da fabricação do produto. Esta é uma alternativa de reciclagem para os resíduos gerados no setor de rochas ornamentais sendo viável, e de elevada importância econômica e ambiental.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] "Rochas ornamentais", Ministério da Educação, p. 15, 2007.
- [2] BALDOTTO, Marihus Altoé., ASPIAZU, I., SILVA, A. P., et al., "H. Potencialidade Agronômica dos resíduos de Rochas Ornamentais", Revista Capixaba de Ciência Tecnologia, n. 3, p. 1-8, 2007
- [3] ABIROCHAS, informe 11/2012, <http://www.abirochas.com.br/>. Acessado em dezembro de 2017.
- [4] ABIROCHAS, informe 01/2017, <http://www.abirochas.com.br/>. Acessado em dezembro de 2017.
- [5] NEVES, Gelmires de Araújo. Reciclagem de resíduos da Serragem de Granitos para uso como matéria-prima cerâmica. Campina Grande, PB, 2002. Tese de Doutorado. Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, 2002.
- [6] MENEZES, R. R, FERREIRA, H. S., NEVES, G. A., et al. "Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas", Cerâmica, v.48, p. 1-9, 2002
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1987. Resíduos Sólidos –Classificação - NBR 10004. Rio de Janeiro.
- [8] DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Estadual Ceará 2017 – ano base 2016, 2017.
- [9] CARVALHO, Magno Rodrigues da Silva; Carisso, Regina Coeli Casseres; Ribeiro, Roberto Carlos da C. Aplicação de Feldspatos extraídos de resíduos de Pedreiras de Granito nas Indústrias de Cerâmica e Vidro, buscando-se tecnologias limpas. Centro de Tecnologia Mineral, 2004.
- [10] CORDEIRO, Erlon Rabelo. Moldagem por Injeção e baixas pressões de pó residual proveniente da extração do Granito Branco Savana. Fortaleza. Dissertação de mestrado. Centro de tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2004, p. 18.
- [11] DANA, J.D., Mineralogy Handbook, Rio de Janeiro, LTC, 1978
- [12] NOGUEIRA, R. E. F. Q. et al. Caracterização de resíduos provenientes da extração de granitos da Serra da Meruoca (CE) visando seu aproveitamento como matéria-prima cerâmica. In: 17º CBCECCIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de novembro de 2006, Foz do Iguaçu.
- [13] SCHLAFHORST, Saurer. Funis de saída Belcoro – advanced Edition. Customer Support. Setembro, 2004.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2004. Amostragem de resíduos sólidos - NBR 10007. Rio de Janeiro.
- [15] PADOVINI, David Santos Souza. Síntese e caracterização de nanopartículas de ZrO<sub>2</sub> por rota hidrotérmica. Bauru. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013, p. 39-40.
- [16] BAHIANSE, Alexandre Vianna. Incorporação de Resíduos de rocha ornamental em argamassas utilizando planejamento de experimentos em rede simplex. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007, p. 53-75.
- [17] NASCIMENTO, I. C. Aplicação do modelo de misturas em química. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.
- [18] SOUZA, M. R, CESCONE, F. R., RAUPP-PEREIRA, F., NOVAES, A. P. N. "Caracterização de areias de quartzo do estado de Mato Grosso do Sul para aplicações industriais", Cerâmica, v.60, p. 569-574, 2014.
- [19] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. 1995. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária – ME 152. Rio de Janeiro.
- [20] I. C. Mattos; A. C. Artur; J. de A. Nogueira Neto. Caracterização Petrográfica e Tecnológica de Granitos Ornamentais do stock granítico Serra do Barriga, Sobral/CE. UNESP, Geociências, v.32, n.2, p.247-268, São Paulo, 2013.
- [21] ASM, ASM Handbook – Metallurgy Powder, 9ª ed, v. 7, ASM International, EUA, 1984.
- [22] ASM, Eng. Mater. Handbook – Ceramics and Glass, v. 4, ASM International, EUA, 1984.