

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DOS PÓS CERÂMICOS CONVENCIONAIS POR PÓ DE GRANITO NA INJEÇÃO DE PEÇAS CERÂMICAS À BAIXA PRESSÃO

Venceslau Xavier de Lima Filho

Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira

Francisco Claudioberto dos Santos

Alexandre Campos Bezerra

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica – Campus Universitário do Pici, bloco 714 – 60455-760 – Fortaleza, Ce.

José Marcos Sasaki

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Física, 60455-760 – Fortaleza, CE, Brasil

Resumo

O processo de moldagem por injeção cerâmica tem por base a mistura de pós cerâmicos, com um veículo (geralmente orgânico) fundido. A injeção cerâmica é muito utilizada na produção de peças de pequenas dimensões e grande complexidade pelas vantagens que oferece. Este trabalho consiste num estudo da viabilidade técnica e da substituição dos pós cerâmicos convencionais pelo pó de granito, que é um resíduo sem aproveitamento econômico, no processo de injeção à baixa pressão (0,6 MPa). Inicialmente selecionou-se um pó residual produzido na exploração de uma rocha de valor comercial. O pó foi a seguir caracterizado por difração de raios-x e análise petrográfica. Ensaio reológicos foram realizados com um veículo orgânico para otimizar suas proporções e da mistura (pó de granito + veículo orgânico) a ser injetada. A viscosidade foi determinada variando-se a taxa de cisalhamento aplicada em várias temperaturas, inclusive a de injeção.

Palavras-chaves: Injeção, granito, viscosidade

1. INTRODUÇÃO

Apesar da crescente importância econômica da indústria de rochas ornamentais para a região Nordeste, alguns obstáculos para o pleno desenvolvimento dessa atividade ainda persistem. Dentre eles, ressalta-se a elevada produção de pó de granito durante a cadeia produtiva, que vai se acumulando nas plantas industriais, e provoca um violento choque ambiental, caracterizado principalmente pela poluição do solo e a poluição e soterramento dos mananciais provocada pela deposição de grandes quantidades de pó. Além disso existe o risco da silicose para a saúde das populações próximas às pedreiras. A redução do impacto ambiental causado pela grande quantidade de rejeitos, é uma questão importante nas pedreiras, sendo ainda um grande desperdício de material, o qual poderia ser aproveitado em

aplicações tecnológicas, desde que devidamente caracterizado e tratado (Castelo Branco,1998).

Dependendo do tipo de material e da localização da pedreira, existem alguns casos de utilização dos rejeitos para a produção de brita, paralelepípedos e meios-fios. A utilização desses resíduos como fonte alternativa de renda se torna extremamente importante, na medida em que pode ser uma saída viável para a crise em que passa a indústria de rochas ornamentais na região Nordeste. No caso do pó, estuda-se sua aplicação como matéria-prima para outras indústrias, tais como a construção civil.

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade técnica da substituição dos pós cerâmicos usualmente empregados no processo de injeção, pelo pó de granito como uma solução aos problemas citados anteriormente.

A moldagem por injeção cerâmica apresenta algumas vantagens ante os processos da fabricação convencionais, principalmente no caso de artefatos pequenos e de formas complexas: a injeção permite a confecção automatizada e uma maior versatilidade de formas; a tolerância dimensional e o acabamento superficial das peças moldadas tornam desnecessárias as operações de usinagem posteriores, que encarecem e podem danificar o produto (Nogueira,1994).

Invariavelmente, o processo tem por base a mistura de pós cerâmicos com um veículo (geralmente orgânico) fundido. Essa massa, sob o estado plástico, é então moldada por máquinas convencionais de alta ou baixa pressão e, após isso, tem-se a solidificação do corpo verde. Antes dessa massa ser moldada é necessário um estudo reológico, a fim de se determinar a porcentagem ótima de cada componente do veículo orgânico e a quantidade ideal de pó cerâmico na mistura (Nogueira et al., 1998).

2. PROCEDIMENTO

2.1. Seleção dos materiais

Pó cerâmico. A seleção dos materiais envolve a seleção do pó e do veículo orgânico adequados para a injeção da mistura. Em termos gerais o pó cerâmico deve apresentar características que influenciem favoravelmente o comportamento reológico da mistura a ser injetada: uma distribuição homogênea do tamanho de partículas, ausência de aglomerados, pequena área superficial e uma forma regular(German et al., 1997). Foi coletada uma amostra bruta de pó de granito de uma rocha comercial proveniente de uma jazida em pleno funcionamento. Como justificativa para a escolha desse material temos a grande abundância do resíduo e o baixo custo, que a própria condição de resíduo proporciona.

Por causa da condição bruta do pó, que foi recolhido diretamente da lavra, o material foi submetido a peneiramento em um agitador de peneiras, utilizando-se malhas com as seguintes aberturas (em mm): 0,20; 0,16 e 0,10. O pó foi a seguir caracterizado por microscopia eletrônica e difração de raios-x. a fim de se conhecer sua composição química, que foi comparada com a análise petrográfica da rocha de origem.

Veículo orgânico (VO). As características que um bom VO deve apresentar são: baixo custo, baixa toxicidade, passividade química com relação ao pó, baixa viscosidade (menor que 500cP), pequena variação da viscosidade com a temperatura e ser forte e rígido (permitindo sua manipulação) após resfriar à temperatura ambiente (Bezerra et al., 1998).

O veículo orgânico utilizado nesse trabalho é composto por cera de carnaúba do tipo1 (matéria prima da região Nordeste) como componente majoritário, cujo ponto de fusão está na faixa de 80 - 83°C, do polietileno de baixa densidade (HI-865 da OPP Poliolefinas S. A.), como componente plastificante, de uso industrial, e do ácido esteárico (P.M. de 284,49 da

Vetec Química Fina LTDA., ponto de fusão de 65 a 68°C, 95% de pureza) como componente surfactante. A seleção da composição foi baseada em estudos de viscosidade anteriores realizados no Laboratório de Desenvolvimento de Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará.

2.2. Preparação da mistura

A etapa da mistura tem como objetivo homogeneizar o pó e o veículo orgânico, garantindo a fluidez para que ocorra a moldagem sem a presença de aglomerados (Nogueira, 1994). Durante seu processamento, a mistura é agitada em um tanque com batedores duplos, onde pode ocorrer a formação de bolhas e neste caso utiliza-se um sistema de vácuo para que este tipo de problema seja eliminado (Purquerio et al., 1994).

É de suma importância que a mistura pó - veículo orgânico satisfaça vários critérios reológicos que permitam a mistura e a moldagem sem defeitos. Essas características dependem do tipo de veículo orgânico, temperatura de moldagem, taxa de cisalhamento, conteúdo de sólidos, características das partículas cerâmicas e presença de agentes ativos de superfície (German et al., 1997). Existe uma faixa de viscosidade adequada à manutenção de um pó disperso sem interferir com o processo de moldagem. Para determinar esta faixa foram realizados estudos reológicos para avaliar e otimizar a composição da mistura .

Os componentes foram primeiramente pesados em suas várias percentagens mássicas, num total de 15g. Em seguida cada amostra foi misturada durante 30 minutos na câmara de aquecimento de um viscosímetro de marca *Brookfield*, modelo LV-DVIII. Após a solidificação, foi realizada uma inspeção visual fraturando-se a amostra solidificada, com o objetivo de se comprovar a homogeneidade da mistura. Posteriormente foram observadas as viscosidades das várias composições das amostras, a fim de se escolher a composição ótima para a mistura a ser injetada. As viscosidades das misturas foram determinadas variando-se a taxa de cisalhamento aplicada, em diferentes temperaturas.

2.3. Injeção da massa cerâmica

Após a determinação das percentagens ótimas para a mistura, esta então foi injetada utilizando-se uma injetora de baixa pressão *Peltsman*, modelo MIGL 133 semi-automática, à uma pressão de trabalho de 0,6MPa, mostrada na Fig. 1. A partir de um molde de aço ABNT 1020, projetado e fabricado pelo Laboratório de Desenvolvimento de Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará. A qualidade na construção do molde é um fator chave, pois influencia diretamente na etapa de moldagem (Mutsuddy et al., 1995). Os moldes utilizados na injeção cerâmica são similares aos utilizados para polímeros, embora alguns cuidados devem ser tomados, pois neste caso o material é abrasivo e poderá causar um desgaste mais rápido no molde.

O procedimento de injeção obedeceu os seguintes passos: 1) alimentar e fechar o tanque; 2) acionar a bomba de vácuo, moto redutor, controlador de temperatura e o temporizador; 3) desligar bomba de vácuo; 4) pressurizar o tanque; 5) posicionar o molde e acionar o pistão para travamento; 6) abrir válvula de injeção; 7) fechar válvula de injeção; 8) ejetar a peça moldada.



Figura 1. Injetora de baixa pressão

3. RESULTADOS

3.1. Difração de raios-x

As medidas de difração foram obtidas por um difratômetro de raios-X da marca *Rigaku* montado na geometria *Bragg-Brentano* à temperatura ambiente. Uma medida cuidadosa foi feita por passo de $0,02^\circ$, onde cada passo foi deixado um tempo de contagem de 5 s. usando uma fonte de radiação de $\text{CuK}\alpha$ com uma potência de 40kV/25mA. A amostra foi peneirada por uma peneira com abertura de 0,10 mm. A procura das fases existentes na mistura foi feita usando um banco de dados de difração de raios-X (ICDD) atualizado até o ano de 1997. Essa procura forneceu a presença das fases de Albita - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, Quartzo - SiO_2 e Microclína – KAlSi_3O_8

A simulação do padrão de difração foi obtida pelo uso do programa DBWS de refinamento de estrutura pelo Método *Rietveld*. A entrada de dados do programa consiste de informações estruturais de cada fase e de acordo com a escala e o peso atômico de cada fase pode-se calcular as porcentagens individuais através da seguinte fórmula:

$$W_p = \frac{S_p (ZMV)_p}{\sum_{i=1}^N S_i (ZMV)_i} \quad (1)$$

onde p é o valor de i para uma particular fase dentro das N fases presente, S_i é o fator de escala refinado, ZM é o peso da célula unitária em unidades de peso atômico, e V é o volume da célula unitária.

A Figura 2 mostra o padrão de difração de raio-X. A pequena discordância encontrada entre os valores experimentais e teóricos pode estar associado com a impureza que possam existir nesses compostos visto que essa amostra foi extraída da própria região de exploração do granito.

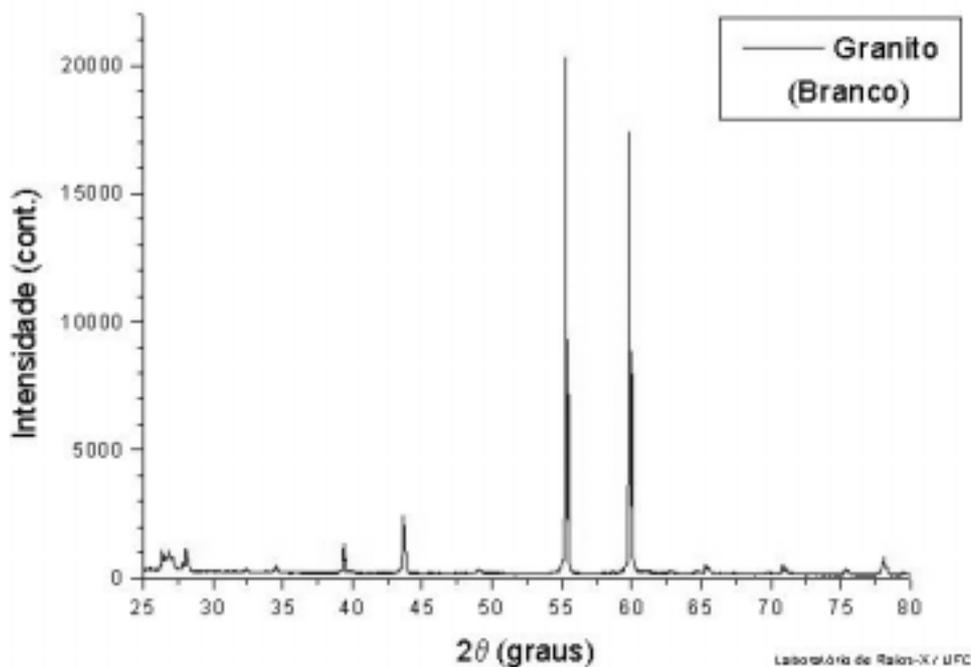


Figura 2 : Padrão de difração de raio-X para o pó de granito

Essa análise permitiu obter uma concentração de 31% de Albita, 58% de Quartzo e 11% de Microclína. Essas fases estão de acordo com os resultados obtidos pela análise petrográfica do material. A Tab. 1 mostra um comparativo da análise quantitativa pela análise petrográfica e pelo método Rietveld.

Tabela 1: Análise quantitativa do Granito por difratometria de pó e análise petrográfica.

	Albita	Quartzo	Microclína	Minerais não essenciais
Raios – X	31 %	58 %	11 %	–
Análise Petrográfica	33 %	49 %	10 %	8 %

O refinamento é feito pela minimização da soma do quadrado da diferença entre a intensidade observada e calculada que cada ponto do padrão de difração de pó. Esse método necessita de conhecimento prévio da estrutura cristalina de todas as fases que estão envolvidas na mistura.

O erro residual do refinamento *Rietveld* é dado por:

$$RWP = \frac{\sum_i w_i (I_{Obs} - I_{Calc})^2}{\sum_i w_i I_{Obs}^2} \quad (2)$$

onde I_{Obs} e I_{Calc} são as intensidades observada e calculada em cada ponto da medida, respectivamente, e w_i é o peso.

3.2. Estudo de viscosidade

Foi verificado que a relação viscosidade - tensão de cisalhamento satisfaz aos critérios reológicos e permite que a mistura e a moldagem da peça ocorram sem macrodefeitos, na proporção comentada anteriormente. Em outras proporções estudadas observou-se uma viscosidade elevada e imprópria para o processo de injeção, o que possivelmente provocaria defeitos nas etapas de mistura e moldagem.

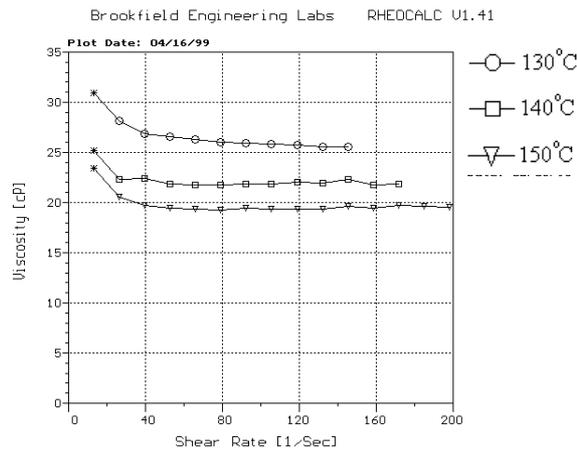


Figura 3. Gráfico dos veículos orgânicos utilizados

A Figura 3 mostra o gráfico da viscosidade dos veículos orgânicos utilizados em função da taxa de cisalhamento aplicada, nas temperaturas de 130°C, 140°C e 150°C. Observando-se as curvas, percebe-se que a viscosidade diminui com a temperatura, como seria de se esperar. Sendo assim, na temperatura de 150°C, a viscosidade do veículo seria a mais indicada para a injeção, pois é a temperatura em que o VO apresenta menor viscosidade por taxa de cisalhamento aplicada. Contudo, é necessário estudar-se a variação da viscosidade das misturas veículo-pó para se obter as condições ideais de moldagem.

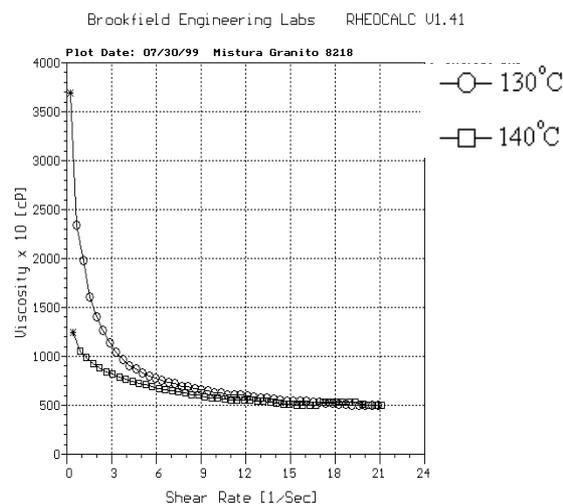


Figura 4. Gráfico da mistura 8218

Após estudos reológicos realizados no Laboratório de Desenvolvimento de Materiais da Universidade Federal do Ceará, observamos que a mistura ideal do veículo orgânico com o pó de granito do tipo Asa Branca, possui a proporção de 82% de pó de granito e 18% de veículo orgânico. O gráfico da Fig. 4 mostra a variação da viscosidade da mistura 8218 (82% de pó de granito e 18% de veículo orgânico), em função da taxa de cisalhamento aplicada. As curvas acima foram obtidas nas temperaturas de 130°C e 140°C, onde se observa que a temperatura de 140°C é mais indicada para a injeção, pois nesta temperatura a mistura apresenta uma menor viscosidade por taxa de cisalhamento aplicada, facilitando assim o fluxo da mistura do tanque da injetora até o interior do molde.

3.3. Injeção

Através das análises das viscosidades das misturas, observou-se que temperatura de injeção mais adequada ao preenchimento da cavidade do molde, mostrado na Fig. 5, sem a introdução de macro defeitos foi de 140°C. As peças injetadas não apresentaram macrodefeitos, devendo ser posteriormente submetidas a ensaios mecânicos.

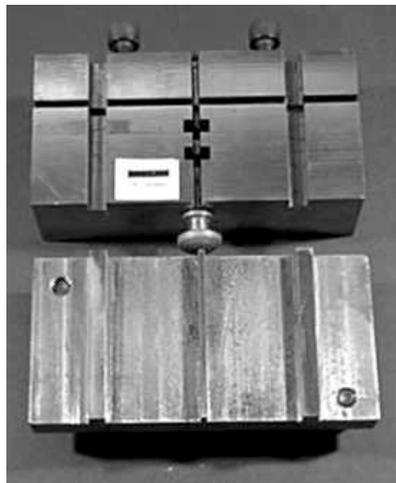


Figura 5. Molde para injeção a baixa pressão

4. CONCLUSÃO

Foi demonstrada a viabilidade técnica da substituição dos pós cerâmicos convencionais por pó de granito na injeção de cerâmicos à baixa pressão, sendo uma fonte de renda alternativa para a indústria de rochas ornamentais, amenizando os impactos ambientais causados pela deposição dos resíduos da extração das rochas no ambiente e ainda ajuda a evitar o aumento da incidência da silicose nas comunidades situadas nas proximidades das jazidas. A análise dos resultados revela que a melhor composição para a injeção a baixa pressão da mistura pó de granito – veículo orgânico, é a que contém as proporções de 82% de pó de granito e 18% de veículo orgânico.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FINEP, ao CNPq, à CAPES, e ao Banco do Nordeste, cujo apoio financeiro tornou possível a aquisição dos equipamentos e a realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Castelo Branco, S.M.A., **Estudo Resíduo de Rochas Ornamentais para Fins Tecnológicos**, Projeto de Pesquisa para o CNPq,1998.
- German, R.M., Bose, A., **Injection Moulding of Metals and Ceramics**. Metal powder Powder Metallurgy Federation, Princeton, New Jersey, Vol. 1, pp11-131,1997.
- Mutsuddy, B.C.,Ford,R.G., **Ceramic Injection Moulding**, Chapman and Hall, London, Vol.1 PP1-65,1995.
- Nogueira, R. E. F. Q., Bezerra, A.C., Santos, F. C., Sousa, M. R., Acchar, W., **Produção de um Guia Fios Cerâmico por Injeção a Baixa Pressão**. V Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica Norte e Nordeste, 1998.
- Nogueira, R.E.F.Q., **Potencialidades e Particularidades do Processo de Moldagem de Pós Cerâmicos por Injeção**, Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1994
- Nogueira, R.E.F.Q., **Processing and Properties of Moulded Alumina Bodies**, Tese de Doutorado, Brunel University, Londres, GB,1992.
- Purquerio, B.M., Fortulan, C.A., Wrege, P.A.S., **Injeção de Cerâmica Avançada para Produção de Componentes**. Vol.342, pp 74-83,1994.