



Mens Agitat 17 (2022) 35-40

ISSN 1809-4791

APERFEIÇOAMENTO DE PROTÓTIPO PARA MOAGEM DE CAVACOS DE ALUMÍNIO

Samuel Matos do Nascimento^{1*}, Alexandre Mateus Mendonça Bezerra², Harim Revoredo³, Juliano Fernandes Dias Taveira de Brito⁴, George Santos Marinho⁵

¹Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. samuel.matos100@hotmail.com

²Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. alexmateus11@yahoo.com.br

³Programa de pós-graduação em Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. haimmacedo@gmail.com

⁴Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. britojuliano99@gmail.com⁴⁵

⁵Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. gmarinho@ct.ufrn.br

RESUMO

A técnica de moagem é amplamente utilizada na engenharia, sendo indispensável em áreas como metalurgia do pó. Em geral, exige máquinas de grandes dimensões. Neste trabalho é descrito o aperfeiçoamento de um protótipo de moedor de cavacos, de pequeno porte e baixo custo, destinado à produção de pó de alumínio a partir de cavacos descartados em processos de usinagem. Após reavaliação do projeto original e a introdução de modificações para sanar problemas, o dispositivo passou a funcionar em conformidade com o previsto. O protótipo foi idealizado, projetado, construído e testado para atender demandas específicas de uma equipe de desenvolvimento de foguetes acadêmicos, interessada em produzir pó de alumínio com granulometrias específicas para adição em misturas de propelentes.

Palavras-chave: alumínio; reaproveitamento; protótipo; moagem; granulometria.

ABSTRACT

The grinding technique is widely used in engineering, being indispensable in areas such as powder metallurgy. In general, it requires large machines. This work describes the improvement of a small and low cost chip mill prototype, intended for the production of aluminum powder from chips discarded in machining processes. After reassessing the original design and introducing changes to solve problems, the device started to work as expected. The prototype was conceived, designed, built and tested to meet the specific demands of an academic rocket development team, interested in producing aluminum powder with specific granulometries for addition to propellant mixtures.

Keywords: aluminum; reuse; prototype; milling; granulometry.

1. INTRODUÇÃO

A metalurgia do pó é uma técnica que permite transformar material granuloso em peças resistentes por meio de compressão e aquecimento, sem fusão do material [1]. O processo de moagem para obtenção do pó é realizado em moinhos e prensas, onde é possível reaproveitar resíduos da usinagem do material original [2].

A moagem industrial requer máquinas de grande porte, com grande capacidade de processamento. Essas máquinas são adaptadas, modificadas e aperfeiçoadas para atender às demandas de produção de diversos setores produtivos [1]. Em geral, são caras e consomem muita energia.

Construir máquinas de moagem para atender micro demandas, como no caso da produção de pó de alumínio para propelentes de foguetes acadêmicos, pode ser uma opção economicamente inviável. Contudo, é viável adaptar a essa função máquinas já existentes em qualquer laboratório de ensino de universidade pública. Além disso, é possível aproveitar resíduos de processos de usinagem como matéria prima para produção do material desejado.

Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos na adaptação de uma máquina elétrica (furadeira de bancada) para produção de pó de alumínio, capaz de gerar material com granulometria específica para uso como aditivo em misturas de nitrato de potássio e açúcar para propulsão de foguetes.

2. ANTECEDENTES

Com o objetivo de atender demanda da Diretoria de Propulsão da equipe de desenvolvimento de foguetes acadêmicos *Potiguar Rocket Design*, Bezerra et al. [4] projetaram e construíram um dispositivo (Fig. 1) para moagem de cavacos resultantes de processos de usinagem realizados em oficinas da UFRN, especialmente adaptado a uma máquina furadeira elétrica.



Fig. 1 - Protótipo de dispositivo de moagem adaptado à máquina furadeira de topo: (a) furadeira elétrica; (b) mandril; (c) pino de transmissão; (d) castanha; (e) disco abrasivo; (f) cavacos; (g) câmara para depósito de cavacos; (h) mesa-base.

Fonte: Bezerra et al. [4]

Durante os testes do conjunto máquina–moedor, realizados no Laboratório de Transferência de Calor da UFRN, foram identificados os seguintes problemas: sobreaquecimento, vazamento do pó resultante da moagem e quebra de peças do dispositivo. Desse modo, foi necessário reavaliar o projeto original e planejar a inserção de modificações no dispositivo.

Observou-se que, devido à falta de fixação ou apoios, eram induzidas vibrações de elevadas amplitude e frequência na câmara de moagem interna, resultando em danos ao dispositivo. Além disso, tratando-se de uma peça submetida a giro, havia o risco intrínseco à segurança do operador.

A fuga do pó pela abertura superior da câmara reduzia a eficiência do dispositivo, especialmente no caso de produção de material com granulometrias menores.

O sobreaquecimento da câmara de moagem é um fator preocupante, pois limita o tempo de execução do processo. Reduzir a velocidade, por outro lado, aumenta o tempo de processamento do material, reduzindo a produção dos pós.

Após análise detalhada dos resultados obtidos nos testes, identificou-se que os problemas possuíam origem comum – o tipo de material utilizado para compor o dispositivo.

Estudando alternativas, descobriu-se que o ácido poliático (PLA) tem sido amplamente empregado na fabricação de peças e componentes. Por ser um material de baixo custo, excelente trabalhabilidade e facilidade de acabamento superficial, pode ser processado em impressoras 3D. Trata-se de um material biodegradável cujas propriedades comparam-se às propriedades de outros polímeros comumente utilizados em manufatura aditiva [3]. Assim, decidiu-se adaptar o projeto original para utilização de PLA na fabricação de peças do dispositivo de moagem em impressora 3D.

3. MATERIAL E PROCEDIMENTOS

Problemas identificados por Bezerra et al. [4] nos testes do dispositivo original foram solucionados utilizando-se os recursos do laboratório LTC / UFRN. As peças do dispositivo foram projetadas em software *SolidWorks* e fabricadas em impressoras 3D, por meio de serviços contratados.

3.1. Mesa-base

A mesa-base de suporte à câmara para cavacos foi fabricada a partir de uma chapa de aço, com 5 mm de espessura, 250 mm de comprimento, 250 mm de largura e 5 mm de espessura, dotada de rebaixo para acoplamento à câmara e quatro rasgos para fixação do conjunto na furadeira de bancada (Fig. 2).

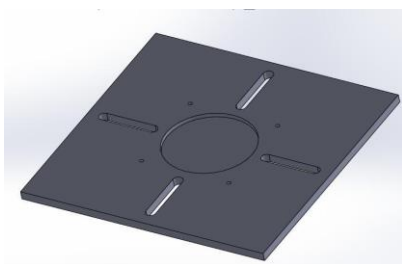


Fig. 2 – Projeto da mesa-base.

3.2. Tampa, pino e castanha de fixação

Para estancar o vazamento do pó durante o processo de moagem, constatado durante os testes realizados por Bezerra et al. [4], propôs-se a inserção de uma tampa, com acoplamento solidário ao pino de transmissão (“c”, Fig. 1). Isso exigiu refazer as medições das dimensões do dispositivo original, utilizando-se paquímetro com resolução de 0,05 mm.

A tampa foi projetada por meio do software *SolidWorks* e fabricada em impressora 3D. Adotou-se um diâmetro interno acrescido de 0,05 mm além do diâmetro externo da câmara de moagem (“g”, Fig. 1), configurando um sistema de fixação por deslizamento. Para evitar deformações decorrentes de aquecimento, a peça foi projetada com espessura de 5 mm. Na Fig. 3 observa-se a peça de PLA fabricada em impressora 3D.



Fig. 3 – Tampa da câmara para cavacos.

Nos testes do dispositivo desenvolvido por Bezerra et al. [4] ocorreu a quebra do pino de transmissão (“c”, Fig.1) da rotação da furadeira (“a”, Fig.1) ao disco abrasivo (“e”, Fig.1).

Realizaram-se simulações computacionais para análise dos esforços de cisalhamento, tração e compressão a que seriam submetidos o pino de transmissão de rotação da furadeira ao disco abrasivo. O PLA foi utilizado para fabricação do pino. Na Fig. 4 observa-se a peça de PLA fabricada em impressora 3D.

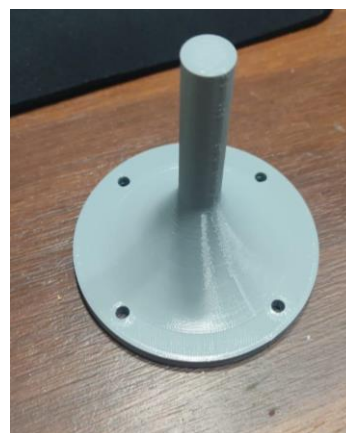


Fig. 4 – Pino de transmissão.

Empregou-se o software *SolidWorks* no projeto das castanhas de fixação da câmara para cavacos à mesa-base. As peças também foram fabricadas em impressora 3D, tendo PLA como matéria-prima.

Foram abertos dois furos na base de cada castanha, destinados à introdução de parafusos de fixação da castanha à mesa-base. Escolheu-se parafuso métrico, com diâmetro de 10 mm, passo de rosca de 1,5 mm (M 10 X 1,5) e comprimento útil de 30 mm. Após a fabricação das castanhas, foram abertas roscas por meio das seguintes ferramentas: macho M4, vira macho e morsa. Em seguida, foi introduzido um parafuso allen com cabeça M4 em cada uma das castanhas, totalizando 4 parafusos. Na Fig. 5 podem ser vistos a castanha e a representação do conjunto.

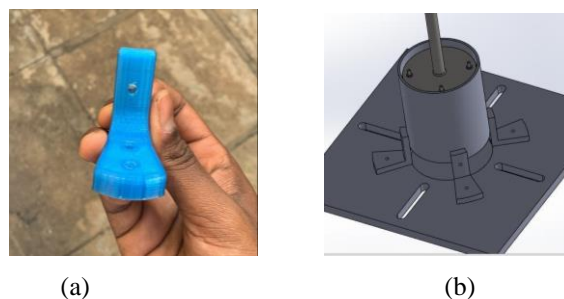


Fig. 5 – (a) castanha de fixação da câmara para cavacos à mesa-base; (b) representação do conjunto mesa-base / castanhas / câmara para cavacos.

3.3. Controle térmico

Bezerra et al. [4] tentaram controlar a temperatura do dispositivo por meio de resfriamento com circulação de água. Contudo, observaram que os pós obtidos durante as moagens se apresentavam úmidos. Assim, durante a revisão do projeto, optou-se pelo controle de temperatura das peças por meio de um secador, ajustado ao modo “resfriamento” e acoplado à lateral da câmara para cavacos.

Na Fig. 6 pode ser observado o equipamento utilizado no controle de temperatura do dispositivo de moagem.



Fig. 6 - Sistema de refrigeração proposto.

3.4. Procedimento experimental

Os experimentos de teste do dispositivo de moagem foram realizados no laboratório LTC / UFRN. Na Tab.1 está discriminado o material utilizado durante os testes.

Tab. 1 – Material utilizado durante os testes do moedor.

MATERIAL	APLICAÇÃO
Protótipo	Moagem
Pincel	Limpeza da câmara
Secador	Controle térmico
Parafuso M10	Fixação da mesa-base
Luvas, máscara e óculos	EPI
Furadeira de bancada	Motor de torque
Peneiras mesh 50, 100, 200, 325	Separação de grãos

Na Fig. 7 observam-se as peneiras utilizadas para separação dos pós e a placa com especificações de funcionamento da furadeira de bancada empregada como motor.



a)

b)

Fig. 7 – (a) Peneiras de separação; (b) especificações da furadeira de bancada.

A câmara para cavacos foi montada no rebaixo central da mesa-base. Por meio de parafusos, as castanhas em formato de “L” foram acopladas à câmara e, em seguida, à mesa. Parafusos M10 foram passados através dos rasgos e presos a porcas, fixando a mesa-base à mesa da furadeira de bancada.

Uma amostra de 23 g de cavacos de alumínio (Fig. 8) foi inserida na câmara de moagem. O pino foi fixado ao mandril da furadeira. O disco abrasivo foi acoplado à câmara para cavacos e a tampa foi ajustada para vedação da câmara.



Fig. 8 – Cavacos de alumínio obtidos de resíduos de processos de usinagem.

Na Fig. 9 observa-se a amostra de cavaco no interior da câmara de moagem, enquanto na Fig. 10 vê-se o dispositivo em sua montagem final.



Fig. 9 – Amostra de cavacos de alumínio no interior da câmara de moagem.



Fig. 10 – Conjunto protótipo – motor pronto para moagem.

A máquina foi acionada e o tempo de processamento foi monitorado. Também foi feito monitoramento da temperatura do dispositivo.

Mesmo empregando o jato de ar do secador para controle térmico do dispositivo, visando preservar a integridade do dispositivo, foram estabelecidas pausas (com duração de 5 min) para resfriamento natural.

O pó produzido no processo foi submetido a peneiras de diferentes mesh e submetidas à vibração, de modo a favorecer a separação. O pó resultante foi guardado em potes com etiquetas para identificação de granulometria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na análise dos resultados obtidos nos testes em laboratório, constatou-se significativa melhoria em relação ao equipamento original, conforme se descreve a seguir.

A utilização do conjunto mesa-base resultou na eliminação de problemas associados à fixação da câmara de moagem, proporcionando redução de excentricidades, desnivelamentos, ruídos e vibrações, além de preservar a segurança do operador.

Graças à firmeza conferida ao acoplamento entre a mesa-base e a câmara de moagem, a transmissão da rotação do motor ao disco abrasivo tornou-se mais eficiente. Essa firmeza foi consequência do uso de parafusos “allen com cabeça”, que, ao exercer uma força de contato axial sobre o cilindro, evitou seu deslocamento. Além disso, a fixação das castanhas à mesa-base por meio de dois parafusos eliminou a possibilidade de rotação, aumentando a força de fixação da câmara.

O expediente (trivial) de utilizar uma tampa acoplada ao pino de transmissão para vedar da câmara de moagem, não interferiu na rotação do pino e evitou a perda de material.

O aumento repentino da temperatura na câmara de moagem, causado pelo atrito entre o disco de granito e a parede interna, foi evitado por meio do jato de ar direcionado, proporcionado

pelo secador. Desse modo, a temperatura na superfície externa da câmara de moagem manteve-se abaixo dos valores verificados por Bezerra et al. [4].

A substituição de metal por PLA mostrou-se uma alternativa viável, permitindo economia de tempo na fabricação das peças. Uma vez que a tensão de escoamento dos polímeros é inferior a dos metais, as mudanças de geometria introduzidas nas peças foram relevantes para aumentar a resistência às cargas impostas no processo de moagem. Para peças que não sofrem cargas relevantes, como as castanhas e a tampa, a impressão 3D pode ser utilizada sem restrições, por meio do software CAE, resultando em economia de tempo e material.

As 23 g de cavaco de alumínio foram inseridas na câmara de moagem e o dispositivo foi colocado para operar a 360 RPM do seguinte modo: 5 min de funcionamento, uma parada de 5 min para resfriamento e outros 5 min de funcionamento. O uso das peneiras de mesh 30, 50, 100, 200 e 325 resultaram em pós com as granulometrias especificadas na Tab. 2.

Tab. 2 – Resultados dos peneiramentos.

Mesh #	Granulometria mm	Massa g
30	0,595	14,06
50	0,297	6,97
100	0,149	0,39
200	0,074	0,32
325	0,044	0,30

Analisando-se os resultados mostrados na Tab. 2 nota-se que a massa total resultante do processo foi de 22,04 g, ou seja, uma perda de 0,96 g, atribuída ao manuseio do equipamento. Isso equivale a cerca de 4 % da massa original da amostra de cavacos, justificando o uso da tampa para contenção do pó (em forma de névoa) resultante do processo de moagem.

Na Tab. 3 comparam-se os resultados obtidos nos processos executados nos modelos antigo [4] e atual (otimizado).

Tab. 3 – Resultados da moagem.

Versão	Antigo [4]	Atual
Tempo de operação	20 min	10 min
Massa inicial	50,0 g	23,0 g
Quantidade de limalhas produzido com mesh # 30	40,0 g 80 %	14,06 g 61,13 %
Quantidade de limalhas produzido com mesh # 50	5,0 g 10 %	6,97 g 30 %
Quantidade de pó produzido com mesh # 100	1,0 g 2 %	0,39 g 1,7 %
Quantidade de pó produzido com mesh # 200	- 0%	0,32 g 1,4 %
Quantidade de pó produzido com mesh # 325	- 0 %	0,30 g 1,3 %

Observando-se os dados da Tab. 3 percebe-se que o tempo de operação e a massa utilizada nos experimentos com o modelo atual foram menores do que aqueles considerados no modelo antigo. Deste modo, pode-se inferir que, se fossem adotados os mesmos parâmetros de entrada, o modelo atual do dispositivo de moagem apresentaria valores ainda maiores.

Na Tab. 3 nota-se que menos limalha foi obtida com a peneira de mesh # 30 no modelo aperfeiçoado, indicando redução na presença de fitas e cavacos finos, i.e., a moagem foi mais eficiente, resultado que se repete com a peneira de mesh # 50.

Ainda na Tab. 3, a partir do mesh # 100, foram obtidos pós ao invés de limalhas. Os pós produzidos com peneiras de mesh # 100 apresentam granulometria de 0,149 mm, percentualmente semelhante ao obtido no processo no modelo antigo. Mais pós foram produzidos com peneiras de mesh # 200 no modelo otimizado, inclusive representando pós bem finos, com granulometria de 0,074 mm. Com peneiras de mesh # 325, em termos percentuais, mais pós foram produzidos pelo modelo atual – foram pós extremamente finos, com granulometria de 0,044 mm. Na Fig. 11 vê-se a armazenagem dos pós.

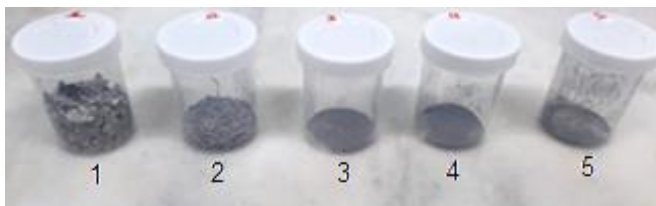


Fig. 11 – Evolução morfológica do cavaco durante o processo de obtenção dos pós.

A partir da Fig. 11 é possível constatar que as amostras 1 e 2 não apresentam pós, mas apenas limalhas ou fitas, que

passaram pelas peneiras de mesh # 30 e # 50. Por isso, nesses casos, foi necessário avaliar características geométricas dos grãos, além do que foi obtido via peneiramento.

As amostras 3, 4 e 5 apresentam pós com granulometrias muito pequenas, superam o resultado obtido por Bezerra et al. [4] e por outros [5], que conseguiram peneirar apenas com mesh # 30.

Pode-se afirmar com segurança que o dispositivo otimizado permitiu atingir o objetivo geral da proposta, i.e., desenvolver um protótipo de equipamento para moagem de cavacos de alumínio, eficiente e de baixo custo, capaz de produzir pós com diferentes granulometrias, necessárias às demandas das diversas aplicações.

5. CONCLUSÕES

O equipamento desenvolvido atendeu às expectativas do projeto, permitindo solucionar problemas identificados no equipamento que o precedeu, eliminando fuga de pó, ruídos, vibrações e riscos, contornando o sobreaquecimento e economizando material (substituição de metal por PLA) e tempo de processo, estando apto à produção de pós a partir de cavacos descartados em processos de usinagem.

Para próximos trabalhos sugere-se que sejam considerados experimentos em velocidades e tempos de processamento maiores, além do uso de técnica de difração de raios x para aperfeiçoar a análise do material resultante da moagem.

REFERÊNCIAS

- [1] CHIAVERINI, V. *Tecnologia Mecânica: Processos de fabricação e tratamento*. Volume II, 2ª edição. Universidade de São Paulo, São Paulo, 315p.,1986.
- [2] SOUZA, J. R. P. *Efeito da sinterização e da moagem de alta energia na microestrutura e nas propriedades mecânicas em ligas de alumínio recicladas a partir de latas de bebidas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 71p., 2017.
- [3] SANTANA, L.; ALVES J. L.; NETTO, A. C. S.; MERLINE, C. *Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica*. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180004.0601>. *Matéria* (Rio J.) 23 (4), 2018.
- [4] BEZERRA, A. M. M., LUCENA, A. L., GOMES, M. S., BRITO, J. F. T., MARINHO, G. S. *Desenvolvimento de um moedor de cavacos de alumínio de baixo custo*. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial - CONEMI (virtual), 2020.
- [5] FAGUNDES, J. G. F.; VENTRELLA, V. A.; GALLEGOS, J. *Reciclagem de cavacos de titânio para a deposição de revestimentos duros por soldagem*. Artigo técnico, Soldagem & Inspeção. The Development of Zonal Models for Turbulence. Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Vol.1, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 41-44, 2015.