



# Livro Resumo 2025

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**XXXI Seminário Anual PIBIC**  
**XXII Seminário Anual PROBIC**  
**XV Seminário Anual PIBITI**



**26 e 27 de novembro de 2025**



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO



# Construção de um moinho de facas controlado para moagem de ligas U-Mo hidretadas

Raissa Santos de Almeida, Michelangelo Durazzo, e Ricardo Leal

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

O domínio do ciclo do combustível nuclear é essencial para a autonomia energética e científica do Brasil. O IPEN já consolidou a produção de combustíveis do tipo dispersão  $U_3O_8$ -Al e  $U_3Si_2$ -Al, qualificados por testes de irradiação no reator IEA-R1, com queimas superiores a 30%. Entretanto, as densidades máximas — cerca de  $3,2 \text{ gU/cm}^3$  para  $U_3O_8$ -Al e  $4,8 \text{ gU/cm}^3$  para  $U_3Si_2$ -Al — limitam seu uso em novos reatores de pesquisa, que demandam maior densidade de urânio.

Nesse contexto, o combustível U(Mo)-Al surge como alternativa promissora, permitindo densidades acima de  $7 \text{ gU/cm}^3$ , com maior estabilidade sob irradiação e possibilidade de reprocessamento. Sua fabricação envolve pó metálico obtido por hidretação-desidretação, que fragiliza a liga e viabiliza a moagem mecânica. Porém, o moinho de facas atualmente disponível no IPEN opera em rotação fixa e apresenta rendimento granulométrico inferior a 50%, com perdas de pó e aumento de rejeitos.

Propõe-se, assim, o desenvolvimento de um moinho compacto, de porte semelhante a um liquidificador doméstico, com controle de rotação e otimização da cominuição, visando reduzir desperdícios, aumentar a segurança operacional e apoiar a produção de combustível U(Mo)-Al para o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) e demais reatores de pesquisa.

## OBJETIVO

Desenvolver, construir e avaliar um moinho de facas com controle de rotação para moagem de ligas U-Mo hidretadas, buscando elevar o rendimento granulométrico de valores inferiores a 50%

para patamares próximos ou superiores a 70%.

O projeto utiliza o reaproveitamento de um motor universal de liquidificador doméstico, adaptado com sistema de variação de velocidade, combinando baixo custo, simplicidade, robustez e capacidade de operação em altas rotações.

## METODOLOGIA

A metodologia integra revisão bibliográfica, modelagem computacional, projeto mecânico e testes experimentais. Foram analisados métodos de cominuição e as limitações de moinhos de facas aplicados a ligas de urânio, definindo requisitos de projeto e a necessidade de controle de rotação.

Modelos tridimensionais em software CAD garantiram a compatibilidade entre motor, facas, câmara de moagem e revestimento interno. Simulações de dinâmica de fluidos computacional (CFD) auxiliarão na avaliação do comportamento do pó, e análises de elementos finitos (FEA) na verificação da integridade estrutural.

As facas serão confeccionadas em aço inoxidável; a estrutura externa, em alumínio usinado, com revestimento interno em inox para evitar contaminação. Componentes auxiliares serão produzidos por impressão 3D. O motor adaptado será acoplado diretamente ao eixo das facas, constituindo o núcleo funcional do protótipo.

Os testes previstos incluem ensaios a vazio, para definição da faixa segura de rotações, e ensaios de moagem com ligas U-Mo hidretadas, seguidos de análise granulométrica, permitindo comparação direta com o moinho atualmente utilizado no IPEN.

## RESULTADOS

Até o momento, foi concluída a concepção do protótipo, incluindo a modelagem 3D do copo de moagem e do acoplamento do motor reaproveitado, assegurando alinhamento entre eixo, motor e câmara interna.

Foram realizadas simulações preliminares em MATLAB para estimar a influência da rotação no rendimento granulométrico. Os resultados numéricos indicam potencial aumento da fração de pó na faixa desejada ao se adotar controle de velocidade, com estimativa de rendimento em torno de 70%, em contraste com o desempenho inferior a 50% do sistema atual.

Embora ainda sem validação experimental, esses resultados sustentam a hipótese de que o controle de rotação é o principal parâmetro para otimizar o processo.

## CONCLUSÕES

Os resultados parciais obtidos até aqui reforçam a viabilidade da proposta. A modelagem 3D permitiu definir a geometria do copo de moagem e o encaixe do motor universal de liquidificador, solução prática e de baixo custo que viabiliza a construção do protótipo.

As análises preliminares em MATLAB indicam que o rendimento do processo pode ser substancialmente melhorado com a introdução do controle eletrônico de rotação. O comparativo obtido sugere que a fração de pó na faixa granulométrica desejada pode passar de menos de 50% para cerca de 70%. Ainda que simplificados, esses resultados numéricos oferecem uma base promissora para as etapas seguintes do trabalho, que incluem a análise de CFD do fluxo de partículas e os testes experimentais com o protótipo físico.

Conclui-se, portanto, que o projeto segue um caminho consistente, combinando reaproveitamento de materiais, inovação tecnológica e uso de ferramentas computacionais. A continuidade das atividades permitirá validar

experimentalmente o modelo proposto e consolidar uma tecnologia nacional aplicável à fabricação de combustíveis nucleares de alta densidade de urânio.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] Hofman, G. L.; Meyer, M. K.; Ray, A. Design of High Density Gamma-Phase Uranium Alloys for LEU Dispersion Fuel Applications. International RERTR Meeting, São Paulo, 1998.

[2] Pasqualini, E. E.; López, M.; Helzel Garcia, L. J. Powder production of U-Mo alloy, HMD process (Hydriding–Milling–Dehydriding). RRFM, Ghent, 2002.

[3] Solonin, M. I.; Vatulin, A. V.; Stetsky, Y. A.; Trifonov, Y. I.; Rogozkin, B. D. Development of the method of high density fuel comminution by hydride–dehydride processing. International RERTR Meeting, Las Vegas, 2000.

[4] Leal Neto, R. M.; Rocha, C. J.; Carvalho, E. U.; Riella, H. G.; Durazzo, M. Investigation of powdering ductile gamma U-10 wt%Mo alloy for dispersion fuels. J. Nucl. Mater., v.445, p.218-223, 2014.

[5] Durazzo, M.; Souza, J. A. B.; Carvalho, E. F. U.; Restivo, T. A. G.; Genezini, F. A.; Leal Neto, R. M. Manufacturing high-uranium-loaded dispersion fuel plates in Brazil. Annals of Nuclear Energy, v.200, 110506, 2024.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq - CNEN