



PROPELENTES MOLDADOS PARA FOGUETES

Ubirajara da Silva Valença

INTRODUÇÃO

Os propelentes moldados pertencem à classe dos propelentes sólidos e foram fabricados, pela primeira vez, durante a Segunda Guerra Mundial. A pesquisa e o desenvolvimento desses propelentes, destinados a funcionar como combustível de foguetes de grande porte, está ligada às limitações dos foguetes construídos, até então, cujos alcances se restringiam a pequenas distâncias.

Até aquela época os foguetes impulsionados a propelentes sólidos utilizavam grãos de pólvora fabricados por extrusão, em prensas. É fácil de se entender que as prensas extrusoras não tenham capacidade para produzir grãos de pólvora

com grandes diâmetros e grandes comprimentos. Para esses casos, seriam necessárias prensas capazes de processar uma quantidade muito grande de massa de pólvora, à base de nitroglicerina, desenvolvendo enormes pressões.

É sabido que, quando se prensa qualquer material, deve existir uma relação, compatível, entre o êmbolo da prensa e a matriz de extrusão de modo a que o material extrusado tenha características que o habilite ao uso para o qual foi fabricado. No caso de materiais altamente perigosos, como são as massas de pólvoras, a existência dessa relação tornaria impraticável a confecção de tais prensas. É por isso que grãos de propelentes com diâmetros maiores que 10 cm (4 in) devem ser preparados por moldagem ao invés de extrusão.

TECNOLOGIA DA FABRICAÇÃO DE MOLDADOS

Kincaid e Shuey, antes do término da Segunda Guerra, utilizando-se do fenômeno da gelatinização, descoberto em 1884 por Alfred Nobel, prepararam pequenos grãos de pólvora de nitrocelulose, mais tarde chamados "grãos-base", reuniu-os numa forma e os aglutinou com nitroglicerina, obtendo um bloco monolítico. A partir daí e com o desenvolvimento dessa nova técnica pôde-se preparar grãos de propelentes com quaisquer diâmetros e comprimentos, pesando desde alguns quilos até várias toneladas, abrangendo uma faixa de energia bastante variável num impulso, sem precedentes, na fabricação dos combustíveis sólidos para foguetes, dispensando o uso das prensas.

A figura 1 mostra a operação de moldagem do propelente para o foguete americano *Honest John*.

Em linhas gerais, fabricar grãos moldados de propelentes sólidos para foguetes, consiste em carregar os "grãos-base" numa forma, no interior da qual foram distribuídas as "agulhas", que darão a configuração interna do propelente acabado; admitir o "solvente", um líquido nitroglicerinado, submetê-los a um aquecimento, visando a facilitar a gelatinização e, finalmente, descarregar a forma e usinar o "moldado" pronto. Uma inspeção radiográfica visa a busca de fissuras ou bolhas internas que porventura possam ter-se formado por ocasião da fabricação.

O Quadro I resume as características de fabricação e de propriedades dos propelentes de foguetes.

QUADRO I
Resumo das Características de Fabricação e de Propriedades dos Propelentes de Foguetes

Processo de fabricação	Diâmetro do grão do propelente	Tipo de propelente	Preparo da massa	Equipamentos necessários à fabricação	Número de operações envolvendo a fabricação	Segurança envolvendo a fabricação*
Extrusão	Até 10 cm (máximo)	Base dupla nitroglicerinada	Laminação e extrusão a quente (85°C)	Maior número de equipamentos pesados	13	Operações mais perigosas
Moldagem	Acima de 10 cm (não há limite máximo)**	Base dupla ou base dupla modificada (mais energética)	Admissão do solvente de moldagem na temperatura ambiente	Equipamentos mais simples e mais leves	10	Operações mais seguras

*Num caso ou no outro grande número de operações podem ser realizadas sob controle remoto.

**Os franceses, porém, utilizam moldados com diâmetros, somente, até 50 cm.

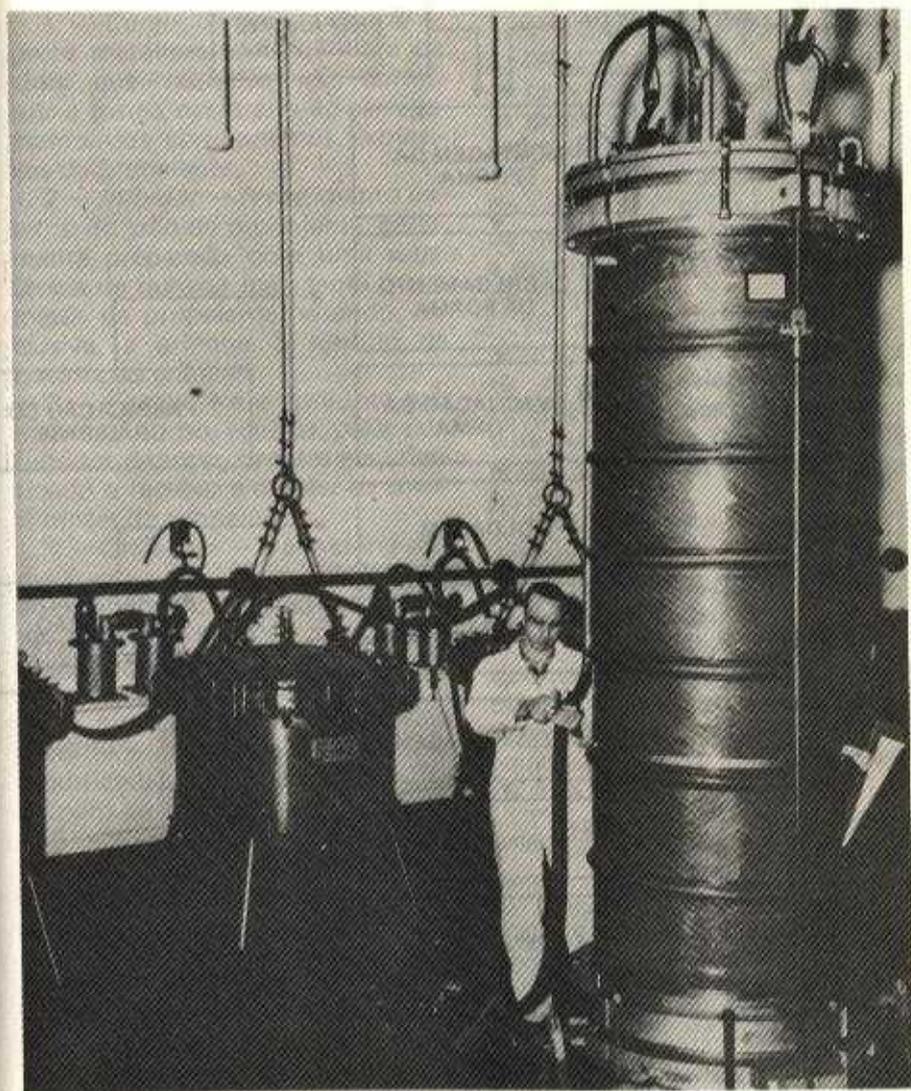


Figura 1 – Conjunto de moldagem do foguete Honest-John

III – FLUXOGRAMA DA FABRICAÇÃO DE MOLDADOS

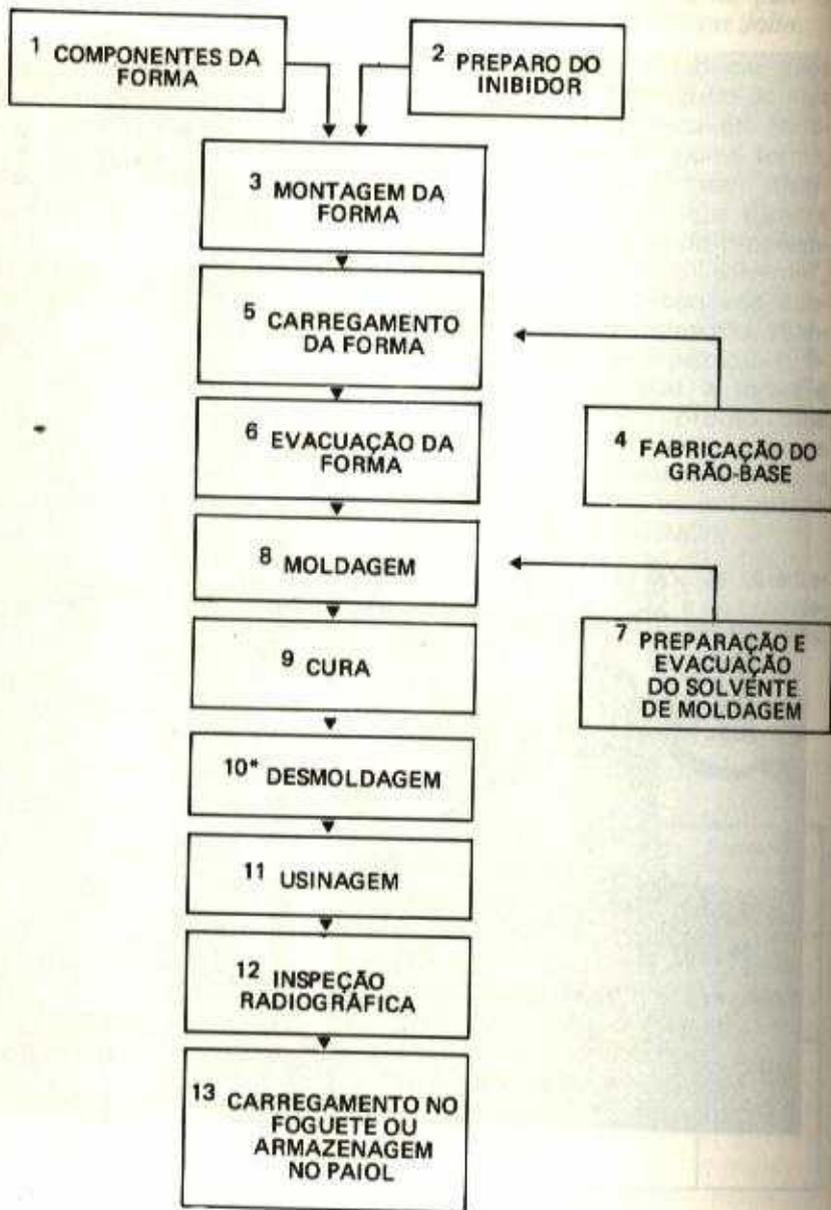


Figura 2

*Essa operação pode ser dispensada se a moldagem se der diretamente no corpo do foguete.

DEFINIÇÃO DOS TERMOS ABRANGIDOS PELO FLUXOGRAMA

1 — *Componentes da forma* — peças metálicas e/ou de fibra de vidro que, reunidas, irão constituir a forma necessária ao carregamento dos componentes explosivos do propelente.

2 — *Inibidor* — revestimento externo do grão do propelente; geralmente preparado com uma substância de queima mais lenta que a massa de propelente, visando, inclusive, a orientar o sentido da queima do grão.

3 — *Forma* — é o conjunto formado do corpo, agulhas, pratos de fundo e de topo, tirantes etc., destinado a receber e manter os constituintes do propelente.

4 — *Grão-base* — é a matéria-prima fundamental para a formação do propelente. O grão-base pode ser fabricado só com nitrocelulose (base simples), com nitrocelulose e nitroglicerina (base dupla) ou com nitrocelulose, nitroglicerina e aditivos energéticos (base dupla modificada). É, normalmente, um cilindro de 1 x 1mm.

5 — *Carregamento da forma* — milhares de grãos-base são acomodados, uns sobre os outros, no interior da forma; distribuídos aleatoriamente em volta das agulhas e limitados pelo inibidor.

6 — *Evacuação da forma* — devido ao processo de carregamento dos grãos-base há desprendimento de pó de pólvora e do grafite de cobertura que irão ocupar os espaços entre os grãos-base. Evacuar a forma consiste em tirar esse pó, por meio de vácuo.

7 — *Solvente de moldagem* — mistura de nitroglicerina e um plastificante destinado a energizar e soldar os grãos-base.

8 — *Moldagem* — admissão do solvente na forma já carregada com os grãos-base. O solvente ocupa os espaços vazios existentes entre os pequenos grãos e os gelatiniza.

9 — *Cura* — tratamento térmico do conjunto grãos-base/solvente de moldagem destinado a acelerar a gelatinização, através o aumento de temperatura.

10 — *Desmoldagem* — após a "Cura" o grão é considerado pronto, isto é, a gelatinização já se completou. A desmoldagem consiste na retirada das agulhas, dos pratos de fundo e de topo, do corpo etc.

11 — *Usinagem* — destina-se a deixar o grão do propelente no comprimento desejado, aparando-se as extremidades.

12 — *Inspecção radiográfica* — destina-se a verificação da existência ou não de fissuras ou bolhas de ar provocadas pela deficiência na gelatinização ou falhas oriundas da cura.

13 — *Carregamento no foguete* — uma vez usinando e inspecionando, radiograficamente, o grão do propelente será carregado no foguete-motor.

FOGUETES QUE UTILIZAM PROPELENTES MOLDADOS

Os quadros seguintes relacionam e indicam detalhes característicos de foguetes americanos e franceses que utilizam, em alguns de seus estágios, propelentes moldados:

QUADRO II
Foguetes Americanos

<i>Categoria da missão</i>	<i>Nome</i>	<i>Diâmetro (cm)</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Alcance (km)</i>	<i>Propulsão</i>
Superfície— Superfície	Little-John	32	3,7	—	+ 32	1 estágio, sólido
	Honest-John	80	7,6	1.900	+ 32	1 estágio, sólido
Superfície—Ar	Nike—Hercules Terrier	80	12,5	+1.800	120	2 estágios, sólido
		38	4,5	1.360	12	2 estágios, sólido
Ar—Ar	Sidewinder	13	3	70	5,5	1 estágio, sólido
Ar—Superfície	Bullpup	45	3,4	245	10	1 estágio, sólido

(+) — Alcance superior a 32 km e peso superior a 1.800 kg.

QUADRO III
Foguetes Franceses

<i>Categoria da missão</i>	<i>Nome</i>	<i>Diâmetro (cm)</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Propulsão</i>
Superfície— Superfície	Acra	13,5	54	9,5	simples, sólida dupla, sólida
	Hot	11	17,5	2,6	
Superfície—Ar	Roland	15	55	15	dupla, sólida
Ar—Superfície	AS 12	17	32,5	7,8	dupla, sólida
	AS 20	23	36,5	23,5	dupla, sólida
	AS 30	33	58,5	78	dupla, sólida
	MARTEL TV	33	83	110	simples, sólida
	KORMORAN	33	113	151	dupla, sólida
Mar—Mar	MM 38 (EXOCE T)	33	113	151	dupla, sólida

No Quadro III, os valores apresentados para o diâmetro, o comprimento e o peso são relativos ao bloco do propelente e não ao foguete total. Do mesmo modo, na coluna Propulsão mostra-se que o foguete tem um ou dois tipos de propelentes, como combustível sólido. No caso de propulsão dupla, apenas um dos tipos de propelente é moldado.

FABRICAÇÃO DE PROPELENTES MOLDADOS NO BRASIL

Em 1971, o Brasil mandou uma comissão de oficiais do Exército,

engenheiros químicos, para estagiar nos Estados Unidos a fim de conhecer a tecnologia da fabricação de propelentes moldados. Essa Comissão estagiou, durante três meses, no Radford Army Ammunition Plant em Radford, Virginia, e os conhecimentos adquiridos serviram de base para os primeiros passos da montagem, no País, de uma usina de fabricação de moldados.

Naquele mesmo ano foram iniciados os contatos com os Estados Unidos e com outros países detentores da tecnologia de moldagem, ficando a antiga Diretoria de Pes-

quisa e Ensino Técnico, DPET, hoje Centro Tecnológico do Exército (CTEx), encarregada de promover licitação internacional, visando a aquisição dos equipamentos para produção de propelentes moldados no Brasil.

Finda a concorrência, o Exército optou pela proposta apresentada pela Sociedade Nacional de Pólvoras e Explosivos, SNPE, da França.

Uma nova equipe de oficiais engenheiros, de sargentos e civis tecnólogos foi, então, enviada à França aonde estagiou, participando do projeto da usina, acompanhando a fabricação de propelentes moldados em instalações francesas e, finalmente, tomando parte ativa na montagem da usina de moldados brasileiros, mandada construir na Fábrica Presidente Vargas, em Piquete.

Essa usina, operando em termos modernos mas não muito sofisticados, poderá produzir grãos

de propelentes para os foguetes X-X-15 e X-20 e para outros que, sem dúvida, serão projetados pelos engenheiros militares nacionais.

Bibliografia

1. CARLOS BOYARS e KARL KLAGER — *Propellants, Manufacture, Hazards and Testings* — *Advances in Chemistry* — Series 88 — ACS — 1969.
2. DAVID MARK — *All About Missiles and Satellites* — Cowan Publishing Corp. — 1959.
3. GEORGE P. SUTON e DONALD M. ROSS — *Rocket Propulsion Elements — An Introduction to the Engineering of Rockets* — John Wiley and Sons — 4ª Ed. — 1976.
4. U. S. VALENÇA — *Propellents Moldados e Composites* — Instituto Militar de Engenharia — 1973.
5. Relatório da Comissão que estagiou no Radford Army Ammunition Plant, Virginia, EUA, 1971.
6. Relatório da Comissão que estagiou na Société Nationale des Poudres et Explosifs, St Medard, França, 1975.
7. Solid Propellants — AMCP 706-175 — Army Materiel Command, USA.



O Ten Cel Eng QUI Ubirajara da Silva Valença tem os cursos da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN), de graduação em Engenharia Química pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) e de pós-graduação e Mestre em Ciências em Engenharia Química, ainda pelo IME. Fez estágios sobre Tecnologia de Propelentes na Radford Army Ammunition Plant, em Radford, Virginia, EUA, e sobre Tecnologia de Catalisadores no Institut de Recherche Sur la Catalyse, em Lyon, e Laboratoire de Cinétique Chimique, em Paris, França. Exerce atualmente a função de Chefe do SFIDT/1 no Comando da 1ª RM.