



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS		AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY
AUTORES AUTHORS	MOTOR-FOGUETE EXPANSOR BOMBEAMENTO TURBINA	 MARCO ANTONIO RAUFF Diretor Geral
AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR		REVISADA POR / REVISED BY
 THAIS MAIA ARAUJO		 ANTONIO L. SILVA GUIMARÃES
DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION		DATA / DATE
<input checked="" type="checkbox"/> INTERNA / INTERNAL <input type="checkbox"/> EXTERNA / EXTERNAL <input type="checkbox"/> RESTRITA / RESTRICTED		abril 1988
CDU/UDC		ORIGEM ORIGIN
621.454.2		LCP
TÍTULO/TITLE  APLICAÇÃO DE MÁQUINAS COM DESLOCAMENTO POSITIVO EM MOTOR-FOGUETE LÍQUIDO		PROJETO PROJECT
		ATLCP
AUTORES/AUTHORSHIP  THAIS MAIA ARAUJO WALTER GILL		Nº DE PAG. NO OF PAGES 14.
		ULTIMA PAG. LAST PAGE 9
		VERSÃO VERSION
		Nº DE MAPAS NO OF MAPS
RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES		
<p>O conjunto de expansores e bombas tem grande utilidade em sistemas de alimentação de motor-foguete líquido. As condições de operação deste conjunto exigem pequenas turbomáquinas convencionais de grande rotação que trazem uma série de problemas no seu projeto, construção e operação. Neste trabalho propõe-se o uso de máquinas do tipo deslocamento positivo que prometem alto rendimento em condições de velocidade específica baixa.</p>		
OBSERVAÇÕES/REMARKS		

#### ABSTRACT

*Expander-pump sets have wide utility in propellant feed systems of liquid fuelled rocket motors. The operating conditions of these devices call for small sized conventional turbo machinery that rotates at very high speed which brings a series of problems in their design, construction and operation. In this paper, we propose the use of positive displacement machines which promise high efficiency in low specific speed conditions.*

•  
• •

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	v
1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2. <u>MÁQUINAS COM DESLOCAMENTO POSITIVO (MDP)</u> .....	2
3. <u>BOMBAS</u> .....	3
4. <u>MOTORES</u> .....	5
5. <u>CONCLUSÕES</u> .....	7
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	9



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pag.</u>
1 - Esquema do sistema de alimentação de propelente líquido .....	2
2 - Máquina típica com diferentes configurações da localização de entrada e saída .....	3
3 - A palheta rachada admite que o fluido a alta pressão lubrifi que o ponto de contato .....	4
4 - Comparação das melhores eficiências de vários tipos de turbi nas .....	6
5 - Comparação da taxa de fluxo do motor a ar de Shouman .....	7



## 1. INTRODUÇÃO

Os geradores de gás catalíticos são frequentemente usados na decomposição de líquidos, fornecendo uma mistura gasosa de alta pressão e temperatura para consumo em sistemas de bombeamento em veículos espaciais. Um exemplo desses sistemas se encontra na Figura 1, a qual consiste em um tanque pressurizado, válvula de controle, leito catalítico e uma câmara de estagnação. Na configuração apresentada, tem-se um expensor acoplado para extrair trabalho útil em eixo rotativo, por exemplo acionar uma bomba de alimentação de motor.

Na operação do sistema, a hidrazina armazenada a alta pressão na forma líquida é injetada no leito catalítico, onde passa para a fase gasosa e entra em contato com o catalisador metálico suportado por um material poroso. Nesse contato a hidrazina se decompõe, produzindo assim um gás a alta temperatura formado de nitrogênio ( $N_2$ ), hidrogênio ( $H_2$ ) e amônia ( $NH_3$ ). A câmara de estagnação pode ser igual à da Figura 1 ou simplesmente um espaço do leito.

Na saída da câmara de estagnação os gases são expandidos num processo isoentrópico entre a pressão da câmara e a pressão de exaustão.

O dispositivo de expansão é normalmente uma turbina convencional que devido às suas características operacionais gira em altíssima velocidade. Velocidade de eixo entre 30000 e 90000 RPM são comuns. Essas velocidades exigem uma máquina de alta precisão e sistema de controle sofisticado.



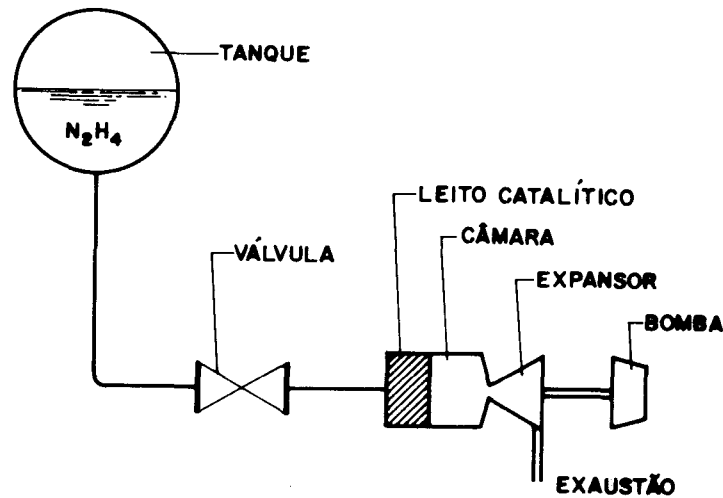


Fig. 1 - Esquema do sistema de alimentação de propelente líquido.

Neste trabalho apresenta-se um conjunto de expansor e bomba de deslocamento positivo que funciona em velocidade de eixo baixo ( $< 2000$  RPM) que, uma vez aperfeiçoado, será uma opção viável para emprego em motores-foguete de propelente líquido.

## 2. MÁQUINAS COM DESLOCAMENTO POSITIVO (MDP)

As Máquinas com Deslocamento Positivo são de grande conhecimento do mundo industrial por causa da sua simplicidade, baixo custo e robustez.

A máquina consiste em palhetas em um rotor cilíndrico com um estator também cilíndrico, mas descentralizado. A Figura 2 mostra uma configuração típica de tal máquina.

Pela variação da localização de entrada e saída, essas MDPs podem ser projetadas para funcionarem como uma bomba, um compressor ou um motor.

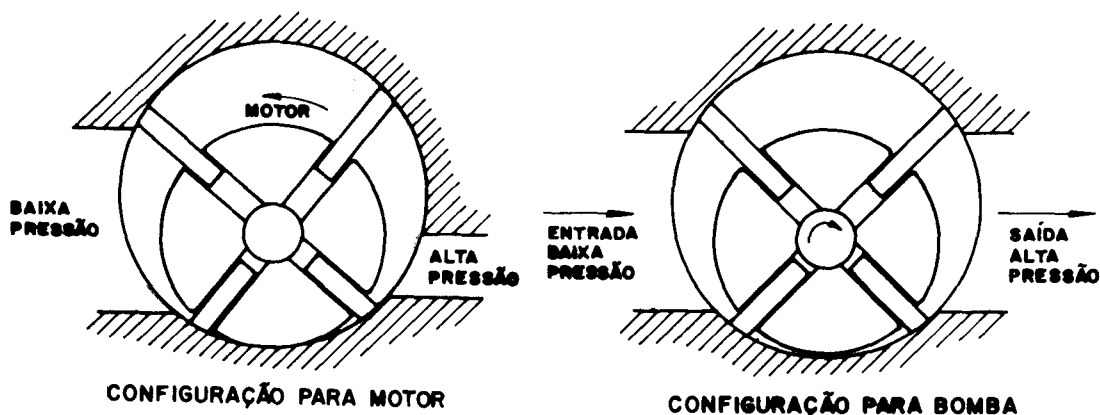


Fig. 2 - Máquina típica com diferentes configurações da localização de entrada e saída.

### 3. BOMBAS

Como uma bomba, a MDP tem historicamente encontrado poucos problemas. Como especificado por Kauffman (1972) há anos atrás, as MDP caem no meio de qualquer carta de "capacidade de bombeamento". Recentes técnicas avançadas, entretanto, têm aumentado tanto sua capacidade que existem muito poucos circuitos hidráulicos que não podem ser movidos pela MDP.

Quanto maior a pressão na bomba, menor a eficiência; mas abaixo de 1000 psi a eficiência da bomba pode ser maior que outros tipos de bombas. Esta condição é causada pelo fato da descarga da bomba ficar frequentemente aberta para o volume debaixo das palhetas para segurá-las contra a parede do estator. Com o aumento das forças sobre as palhetas, a força de atrito aumenta proporcionalmente, entretanto, diminui a eficiência da bomba. Recentes desenvolvimentos em projetos de palhetas têm diminuído a força de atrito produzida pelo alto nível de pressão. Isto foi feito por mais de uma maneira. O caminho mais sim

ples é a utilização do efeito de rolamentos hidrodinâmicos para reduzir a força sobre as palhetas. A Figura 3 mostra como isto é realizado.

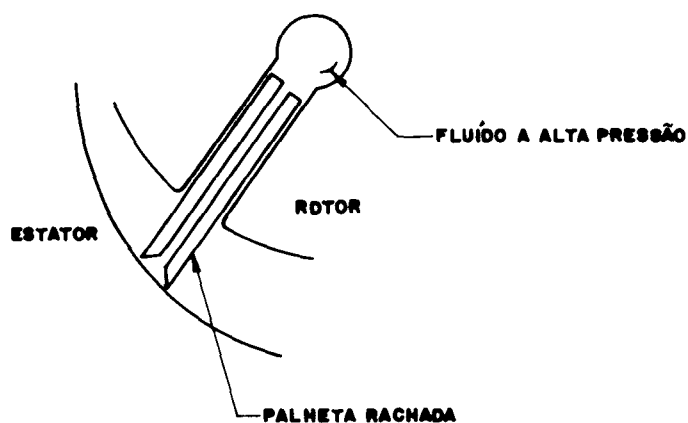


Fig. 3 - A palheta rachada admite que o fluido a alta pressão lubrifique o ponto de contato.

Altas pressões frequentemente produzem excessivo desgaste no rolamento, devido ao desequilíbrio das forças sobre o rotor. Tais condições poderiam ser corrigidas pelo uso de um estator elíptico, bombeando com os dois lados do rotor.

Baixo desempenho frequentemente ocorre em velocidades baixas, com baixa descarga de pressão como resultado de fuga excessiva. A fuga excessiva ocorre porque as palhetas são essencialmente presas contra o estator pela força centrífuga, a qual é insuficiente para bombas com velocidade abaixo de 600 RPM. Em algumas aplicações práticas isto é um aspecto desejável porque reduz o torque de partida das

sas bombas para zero.

As MDPs são tolerantes de contaminação de fluido. Contaminação de fluido causa tanto desgaste em uma MDP como em qualquer outro tipo. Mas com o desgaste as palhetas simplesmente se estendem. A capacidade da bomba para compensar o desgaste produz uma alta confiabilidade. O folheto da Vicker Incorporated (1963) diz que em bombas com palhetas a necessidade de filtração na entrada é eliminada. Isso reduz a perda de pressão na entrada devido à filtração e, portanto, reduz a potência necessária para a bomba. A mesma referência mostra que um modelo desta bomba funcionou continuamente sustentando uma alta eficiência para 3295 hr, com máximo de descarga de pressão de 250 psi. Um outro modelo funcionou para 620 hr com uma descarga máxima de pressão de 900 psi.

#### 4. MOTORES

O conceito do uso de MDP como motor não é novo. Tais motores são chamados de motores a ar e operam com pressões entre 10 a 100 psi (Gast Manufacturing Corporation, 1972). O uso de gases quentes e vapores para acionar tais motores está no presente em estágio de desenvolvimento (Anhalt, 1985). O efeito da expansão térmica adiciona um outro problema para uma situação já complexa.

Motores a ar no mercado atual têm uma baixa eficiência. Balje (1962) mostra o estado de arte no desempenho de turbomáquinas convencionais. A Figura 4 compara as curvas de Balje de desempenho de turbomáquinas com o de MDP sobreposto. É visto que estes motores ocupam um regime importante.

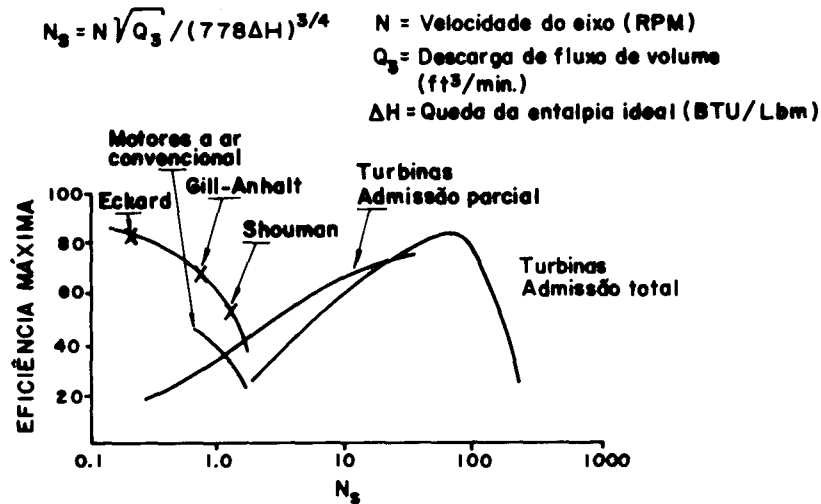


Fig. 4 - Comparação das melhores eficiências de vários tipos de turbinas.

Na década de 60, muitos estudos foram feitos sob a direção de Shouman para melhorar o entendimento da operação de MDP. Devido a esses estudos, a eficiência de seus motores a partir de um motor típico a ar subiu de 35% para acima de 50%. As perdas deste motor foram catalogadas e resultados mostraram que a maior perda é a fuga. A Figura 5 mostra o fluxo real da máquina de Shouman comparado com a taxa teórica. Este motor opera com uma eficiência ligeiramente mais alta que 50%. As perdas podem ser quase totalmente justificadas pela fuga. Uma vedação de labirinto sobre a superfície do rotor elimina o maior caminho de fuga e aumenta a eficiência sobre um motor convencional. Um trabalho posterior de Eckard conseguiu uma eficiência acima de 80% (Figura 4) com as mesmas considerações.

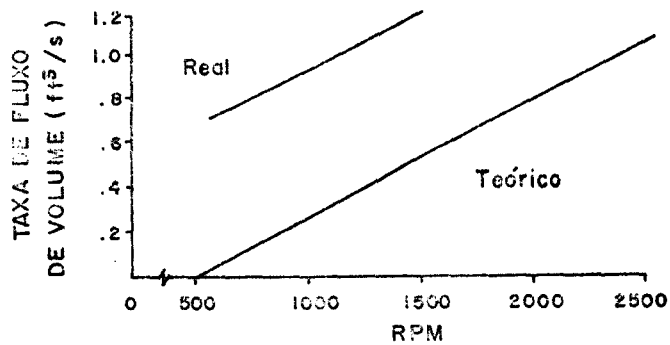


Fig. 5 - Comparação da taxa de fluxo do motor a ar de Shouman.

Um outro trabalho desenvolvido recentemente no INPE mostra que, usando Freon-11 quente ( $110^{\circ}\text{C}$ ), é possível obter uma eficiência de 72% (Figura 4), que é um ponto que junto com os pontos de Shouman e Eckard estabelece uma curva característica desse tipo de expensor.

## 5. CONCLUSÕES

As turbinas convencionais usadas em sistema de alimentação operam com altas velocidades de eixo devido à baixa vazão fornecida pelo gerador de gás. Isto é, as melhores eficiências de turbomáquinas são atingidas operando com uma velocidade específica ( $N_s$ ) entre 10 a 100. Porém, para as MDPs vê-se que quanto menor a velocidade específica maior a eficiência, o que significa uma máquina com baixa velocidade de eixo.

Diante dos dados aqui apresentados fica óbvio que o conjunto de motor e bomba de deslocamento positivo merece consideração para o uso em sistemas de alimentação de motor-foguete líquido, porque é uma tecnologia alcançável, já disponível no país, viabilizando assim a entrada do Brasil no campo de motor-foguete líquido.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANHALT, J.; GILL, W. *Projeto Solar*. Cachoeira Paulista, INPE, 1985. Anotações pessoais.
- BALJE, D.E. A study on design criteria and matching of turbomachines. *Journal of Engineering for Power*. 84: 83-102, jan. 1962.
- ECKARD, S.E. *Multi-vane expander as prime mover in low temperature solar or waste heat applications*. Ohio, OH, General Electrical Company, 1975.
- ISCHER, R.D. *A solar heat pump featuring pinoting-tip vanes*. Ohio, OH, Battelle Columbus Laboratories, 1975.
- GAST MANUFACTURING CORPORATION. *Gast vacuum pump/compressor/air motors*. Benton Harbor, MI, Gast Manufacturing Corporation, 1972. Catálogo.
- GILL, W. *An investigation of the various losses in the positive displacement turbine*. Master thesis in Mechanical Engineering. New Mexico State University, 1971.
- JACOB, W.S. *An investigation of the effects of port timing on the positive displacement turbine*. Master thesis in Mechanical Engineering. New Mexico, New Mexico State University, 1971.
- KAUFFMAN, J. Vane pumps. *Machine Design*, 14: 5-7, 1972.
- SCHEEL, L.F. A technology for rotary compressors. *Journal of Engineering for Power*. 101: 207-216, jul. 1979.
- VICKERS INCORPORATED. *Descriptive summary SE 101, vickers vane type fuel pumps for gas turbine engine fuel systems*. Troy, MI, Vickers Incorporated, 1963. Catálogo.



PROPOSTA PARA PUBLICAÇÃO

DATA \_\_\_\_\_

IDENTIFICAÇÃO	TÍTULO	
	APLICAÇÃO DE MÁQUINAS COM DESLOCAMENTO POSITIVO EM MOTOR - FOGUETE LÍQUIDO.	
	AUTORIA	PROJETO/PROGRAMA
	THAÍS MAIA ARAÚJO WALTER GILL	BIPROL
		DIVISÃO
		DEPARTAMENTO
		LCP
DIVULGAÇÃO <input type="checkbox"/> EXTERNA <input checked="" type="checkbox"/> INTERNA MEIO: RPI - _____		

REVISÃO TÉCNICA	REVISOR TÉCNICO	APROVADO: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> VER VERSO		APROVAÇÕES
	ANTONIO LUIS DA SILVA GUIMARÃES	DATA	CHEFE DIVISÃO	
	RECEBI EM: 18/11/87 REVISADO EM: 24/11/87			
	OBSERVAÇÕES: <input checked="" type="checkbox"/> NÃO HÁ <input type="checkbox"/> VER VERSO	APROVADO: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> VER VERSO		
DEVOLVI EM: _____	ASSINATURA	1-12-87	CHEFE DEPARTAMENTO	

REVISÃO DE LINGUAGEM	Nº: 311	PRIORIDADE: 1	O(S) AUTOR(ES) DEVE(M) MENCIONAR NO VERSO, OU ANEXAR NORMAS E/OU INSTRUÇÕES ESPECIAIS		DATILOGRAFIA
	DATA: 07.12.87		RECEBIDO EM: _____		
	REVISADO <input type="checkbox"/> COM <input type="checkbox"/> SEM	CORREÇÕES <input type="checkbox"/> VER VERSO	CONCLUÍDO EM: _____		
	POR: Maria do Carmo S. Lopes	ASSINATURA	DATILOGRAFA: Dinorah C. Azevedo		
8-12-87	DATA		ASSINATURA		

PARECER		DATA	RESPONSÁVEL PROGRAMA
FAVORÁVEL: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> VER <input type="checkbox"/> VERSO		

EM CONDIÇÕES DE PUBLICAÇÃO EM: _____	AUTOR RESPONSÁVEL: _____
--------------------------------------	--------------------------

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
DIVULGAÇÃO <input type="checkbox"/> INTERNA <input type="checkbox"/> EXTERNA	MEIO: _____
OBSERVAÇÕES: _____	
DATA _____	DIRETOR _____

SEC	PUBLICAÇÃO: 4484 RPE/196	PÁGINAS: _____	ÚLTIMA PÁGINA: _____
	CÓPIAS: _____	TIPO: _____	PREÇO: _____