

INÍCIO DAS ATIVIDADES ESPACIAIS NO BRASIL E A QUALIFICAÇÃO DE SISTEMAS PROPULSIVOS PARA APLICAÇÕES ESPACIAIS

Carlos Eduardo Rolfsen Salles

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Espacial de Cachoeira Paulista
Rodovia Presidente Dutra Km 40
Cachoeira Paulista-São Paulo-Brasil
CEP 12630-000
salles@lcp.inpe.br

Aguinaldo Martins Serra Jr

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Espacial de Cachoeira Paulista
Rodovia Presidente Dutra Km 40
Cachoeira Paulista-São Paulo-Brasil
CEP 12630-000
agnaldo@lcp.inpe.br

Resumo. *Este trabalho tem como objetivo apresentar um breve histórico do início das atividades espaciais no Brasil, conceitos de sistemas de propulsão a jato e suas aplicações, dos laboratórios existentes para a qualificação de sistemas utilizados na propulsão espacial e alguns resultados obtidos em campanhas de um motor bipropelente de 200 N de empuxo e de um monopropelente de 5N a decomposição catalítica da hidrazina realizados no INPE.*

Palavras-chaves: *Propulsão, Foguetes, Satélites, monopropelentes, Bipropelentes*

1. Introdução

Satélites são lançados da superfície da Terra através de foguetes de múltiplos estágios (Veículo Lançador de Satélites, Ariane, Longa Marcha, VLS, etc.). Após a ignição do primeiro estágio, o conjunto parte numa trajetória vertical e, depois de alguns segundos, inclina-se seguindo uma trajetória curva até o fim da queima de todos os estágios associados a esta trajetória de ascensão. Neste instante, a posição, a inclinação e a velocidade do que restou do conjunto determinam completamente a órbita que o satélite irá descrever.

Dois tipos básicos de trajetórias de ascensão podem ser escolhidos: ascensão direta ou transferência tipo Hohmann. O primeiro é utilizado quando o ponto de injeção corresponde a órbita final desejada, isto é, órbitas baixas, por exemplo, satélites de coleta de dados. O segundo quando o satélite é posicionado na sua órbita final após uma série de manobras adicionais, denominadas trajetórias de transferência,. Neste caso é necessário um sistema propulsivo integrado ao satélite e que possa ser operado intermitentemente. Esta necessidade limita este sistema propulsivo aos que utilizam propelentes líquidos ou gasosos. Também, a influência de outros corpos celestes, Lua, asteróides, etc. , da pressão da radiação solar sobre os painéis solares, que transformam a energia

solar em energia elétrica, necessária para comandar os computadores de bordo e os subsistemas, como eletro-válvulas dos sistemas propulsivos e demais sensores utilizados na missão, mudam não apenas a orientação dos satélites mas, a sua órbita.

Para que um sistema propulsivo possa ser acoplado a um satélite para uma determinada missão, é necessário que seja qualificado em terra, isto é, exaustivamente testado dentro de um programa de qualificação previamente determinado. Para isso, é necessário que se disponha um banco de testes com simulação de altitude, para que estes testes de qualificação possam ser feitos.

Atualmente, encontram-se em operação quatro bancos de testes para motores até 200 Newtons de empuxo no mundo, um nos Estados Unidos, um na Rússia, outro na Alemanha e um no Brasil, nas instalações do INPE, em Cachoeira Paulista.

O banco de testes com simulação de altitude, construído no Centro Espacial de Cachoeira Paulista, é o único da América Latina, criado não só para dar suporte ao programa espacial brasileiro, também, a todos os países que queiram qualificar seus propulsores para missões espaciais. O BTSA inaugurado em 29 de dezembro de 1999, já testou três motores de 200 Newtons do programa espacial francês, fabricados pela SNECMA, empresa francesa ligada à agência espacial européia (ESA), que serão utilizados num veículo não tripulado para transportar cargas à Plataforma Espacial Internacional. Atualmente, testa motores de 200 Newtons desenvolvidos pelo INPE e pelo Instituto de Aviação de Moscou (MAI), bem como sistemas monopropelentes à decomposição catalítica da hidrazina que serão utilizados na Plataforma Multi-Missão (PMM), programa desenvolvido pelo INPE em parceria com a Agência Espacial Brasileira (AEB) e com a indústria nacional.

2. Início das Atividades Espaciais no Brasil

As informações aqui contidas foram extraídas da publicação feita pela editora Contexto em 1991 intitulada: ***CAMINHOS PARA O ESPAÇO - 30 ANOS DO INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – BRASIL.***

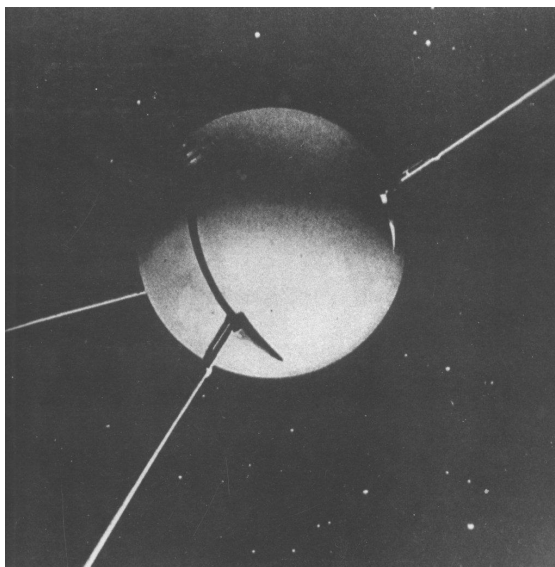


Figura 1. Sputnik I

Na década de 50, em plena guerra fria, a corrida espacial foi intensificada a partir da colocação em órbita do primeiro satélite artificial pela antiga União Soviética, denominado de SPUTNIK 1 (Fig. 1), no dia 04 de outubro de 1957. Em janeiro de 1958 os Estados Unidos lançavam a EXPLORER 1 acirrando ainda mais a disputa. No dia 12 de abril de 1961, o astronauta soviético

Yuri A. Gagarin subiu ao espaço na nave VOSTOK I. Menos de um mês depois no dia 05 de maio de 1961, o astronauta americano Alan B. Shepard Jr é lançado ao espaço pela nave MERCURY.

Em 1957, dois estudantes do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA entraram em contato com o Laboratório de Pesquisa Naval da Marinha dos Estados Unidos. Fernando de Mendonça e Júlio Alberto de Moraes Coutinho queriam construir uma estação para receber sinais de satélites do Projeto Vanguard que estava sendo desenvolvido pela Marinha americana. Então, com o apoio do IPD, construíram e instalaram uma estação de antenas, MINITRACK, no CTA em São José dos Campos. Assim, os estudantes estavam preparados para receber os dados do primeiro satélite artificial da Terra, que muitos acreditavam seria dos Estados Unidos. No entanto, a União Soviética surpreendeu o mundo ocidental, adiantando-se aos norte-americanos. Em uma semana, os estudantes adaptaram a estação MINITRACK para receber os sinais do SPUTINIK 1. Também captaram os sinais do satélite americano EXPLORER 1.

No dia 20 de fevereiro de 1961, Luiz de Gonzaga Bevilacqua e Thomas Pedro Bun entregam ao presidente Jânio Quadros uma carta sugerindo a criação de um Conselho Nacional de Pesquisas e Desenvolvimento Espacial. No dia 17 de maio de 1961, o presidente nomeia uma comissão formada pelo almirante Octacílio Cunha (Conselho Nacional de Pesquisas, CNPq), coronel Aldo Vieira da Rosa (Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, IPD/Centro Técnico Aeroespacial, CTA), Luiz de Gonzaga Bevilacqua e Thomas Pedro Bun (presidentes da Sociedade Interplanetária Brasileira, SIB), para estudar e sugerir a política e o programa de investigação espacial brasileira e propor medidas para implementação das pesquisas nesse campo. Em julho de 1961 o presidente Jânio Quadros condecora o cosmonauta soviético Yúri A. Gagarin (Fig. 2).

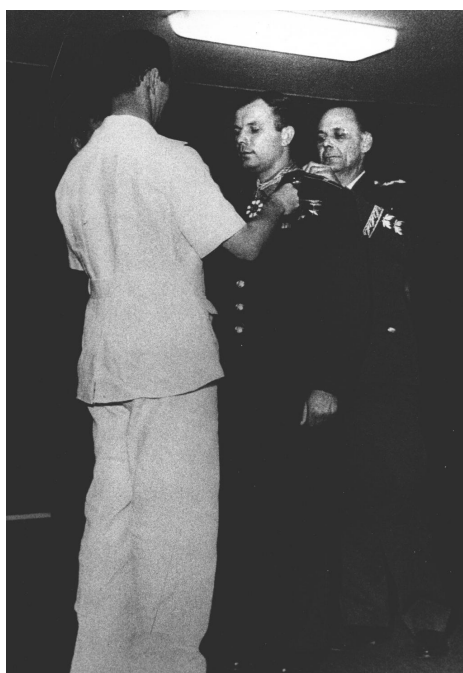


Figura 2. Condecoração de Yúri A. Gagarin pelo presidente Jânio Quadros.

No dia 15 de junho, a comissão encaminhou o seu relatório à Presidência da República propondo a criação de um Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE).

No dia 03 de agosto de 1961, o presidente da república assinava o decreto de criação do GOCNAE. A posse formal da diretoria aconteceu no dia 22 de janeiro de 1962, na sede do CNPq no Rio de Janeiro, sendo assim constituída:

Presidente: Aldo Vieira da Rosa (Aeronáutica)

Membros do Grupo executivo: coronel Alnyr Maurício (Exército), almirante João Botelho

Machado (Marinha) e coronel Sérgio Sobral de Oliveira (Aeronáutica)

Membros do Conselho: Luiz de Gonzaga Bevilacqua, Thomas Pedro Bun e Lincoln Eduardo de Souza Bittencourt, civis e representantes da sociedade Interplanetária Brasileira.

O pequeno grupo que compunha o GOCNAE alojou-se inicialmente no CTA, em salas do Centro de Preparação de Oficiais da Reserva da Aeronáutica (CPOR) em São José dos Campos. Fernando de Mendonça desde 1959 fazia doutorado na Universidade de Stanford, na Califórnia (EUA). Suas pesquisas tratavam da utilização de satélites para estudos da ionosfera. Antes de retornar ao Brasil em 1963 atuou como representante do GOCNAE junto à Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA). Após concluir o doutorado em radiociência, Mendonça chegou a São José dos Campos trazendo na bagagem os equipamentos para a instalação do primeiro laboratório de pesquisa espacial no Brasil. Era uma estação completa, cedida pela NASA, para a recepção de dados de satélites dedicados a estudos ionosféricos. O coronel Aldo Vieira da Rosa deixou a presidência do GOCNAE no primeiro trimestre de 1963 para fazer doutorado nos EUA, onde passou a viver, e é atualmente professor emérito da Universidade de Stanford. Fernando de Mendonça assumiu a direção científica do GOCNAE e, interinamente, a sua presidência até 1964. A partir de 1963 o GOCNAE passou a contar com o trabalho de estagiários, alunos do curso de engenharia eletrônica do ITA, que ajudaram a implantar o Laboratório de Física Espacial trazido por Mendonça. A partir deste ano a GOCNAE passou a se chamar de CNAE.

Uma das metas prioritárias da CNAE durante os primeiros 15 anos de sua existência foi a formação de recursos humanos. A partir de 1968 foram criados na CNAE os cursos de pós graduação nas áreas de Ciência Ambiental e Espacial, depois designado Ciência Espacial e da Atmosfera, Eletrônica e Comunicações e Engenharia de Sistemas. Em 1972, através do Projeto Porvir, estavam formados 150 mestres em Ciências e 50 doutores em áreas ligadas às atividades espaciais.

Quando a NASA desenvolveu e lançou seus primeiros satélites meteorológicos, a CNAE formou em pequeno grupo de especialistas como objetivo de absorver a tecnologia americana de estações receptoras chamadas de APT (Automatic Picture Transmission) que permitia a recepção de imagens de cobertura de nuvens sobre a América do Sul transmitidas em tempo real pelos satélites da série ESSA.

Até meados da década de 70, a CNAE implantou uma rede de estações APT em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) envolvendo, ainda, a participação de Universidades e Instituição de Pesquisa ligada ao governo.

Em 1967 começou a ser esboçado, na CNAE, o Projeto de Sensoriamento Remoto (SERE) destinado ao levantamento de informações sobre recursos terrestres utilizando imagens de aeronaves e, logo depois, de satélites. A Instituição, que até essa época demonstrava aptidão essencialmente para pesquisa básica e a formação acadêmica.

Ingressada, desta forma, no campo da Pesquisa Aplicada, em julho de 1969, uma equipe de especialistas do CNAE e do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) participou de uma série de vôos com aviões da NASA equipados com câmeras, radares, e sensores próprios para trabalhos de Sensoriamento Remoto, sobrevoaram o Quadrilátero Ferrífero do Estado de Minas Gerais para estudos de Geologia, a região de Campinas (SP) para levantamentos agrícolas e Cabo Frio o Estado do Rio de Janeiro para medidas de oceanografia e hidrografia.

Esse trabalho recebeu o nome de Missão 96 e só foi possível graças ao convênio formado entre o CNAE e a NASA.

Os técnicos do DNPM que participam desta missão iniciam pouco tempo depois o Projeto Radar da Amazônia (RADAM).

Um dos trabalhos mais significativos da CNAE no campo da pesquisa aplicada foi o Projeto “Satélite Avançado de Comunicações Interdisciplinares”(SACI), que começou a ser idealizado em 1968. O objetivo principal era implantar um Sistema Nacional de TELE EDUCAÇÃO, utilizando satélites de comunicação como meio de difusão.

Entre 1968 e 1970 as atividades em Ciências Espaciais e Atmosféricas receberam grande

impulso com a chegada de 20 Doutores Indianos à CNAE.

No dia 20 de janeiro de 1971, o General Emílio Garrastazu Médici, assinou o Decreto 68.099, criando a Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE) com o objetivo de assessorar a Presidência da República na Independência das diretrizes da Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE).

A COBAE passou a ser presidida pelo chefe do Estado Maior das Forças Armadas (EMFA), constituída por representantes dos Ministérios da Aeronáutica, Exército, Marinha, Relações Externas, Fazenda, Educação, Cultura, Planejamento, Comunicação, EMPA, além do Conselho de Segurança Nacional e o CNPq.

Três meses após a criação do COBAE, em 22 de abril o Presidente Médici assinou o Decreto 68.532 extinguindo o COCNAE que oficialmente mantinha este nome e criou o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais que continuou subordinado ao CNPq.

Fernando de Mendonça, desde 1963 ocupando o cargo de Diretor Científico da CNAE, foi nomeado primeiro Diretor Geral do INPE.

No dia 23 de julho de 1972 os EUA lançaram o 1º Satélite de Sensoriamento Remoto, o ERTS-1. Ainda em 1972 o INPE adquiriu uma estação completa para recepção e gravação dos dados do ERTS-1 sobre a América do Sul. Esta estação foi montada em Cuiabá que começou a receber as informações em maio de 1973. Pouco tempo depois este satélite passou a ser chamar LANDSAT-1.

3. Sistemas de Propulsão à Jato

Propulsão, de uma maneira geral é o ato de se mudar a velocidade de um corpo. Os mecanismos propulsivos fornecem uma força que pode mover os corpos quando esta supera as forças dissipativas do meio no qual se desloca.

Sistema de Propulsão à Jato é um meio de locomoção na qual uma força de reação é imposta ao sistema pela variação do momentum da matéria ejetada e das forças de pressão que agem internamente e externamente ao sistema. Os sistemas de propulsão a jato podem ser classificados em duas grandes categorias, motores-foguete (Rocket Motors) e motores cinéticos (Duct propulsion ou air-breathing engines).

Os sistemas propulsivos podem ser divididos em três categorias, propulsão química, propulsão nuclear e propulsão solar. A fonte de energia mais utilizada são as reações de combustão de produtos químicos que podem ser sólidos, líquidos e gasosos ou, uma combinação entre eles.. Energia também pode ser fornecida pela radiação solar ou por uma reação nuclear. Energia em forma de radiação pode ser obtida de outras fontes diferentes do Sol, como microondas ou feixes de laser, ondas eletromagnéticas e feixes de elétrons, prótons ou outra partícula de um transmissor para um receptor em movimento. A energia nuclear está associada com transformações de partículas atômicas dentro do núcleo dos átomos e podem ser de vários tipos, fissão, fusão ou pelo decaimento de espécies radioativas.

De uma maneira geral, a energia obtida no plano de saída do bocal de um motor foguete é a energia cinética da matéria ejetada. A massa ejetada pode estar em qualquer estado sólido líquido ou gasoso. Na maioria das vezes uma combinação deles é ejetada. Quando as temperaturas são muito elevadas pode ser formado um plasma, isto é, um gás altamente ionizado. A tabela 1 apresenta as fontes de energia e os propelentes utilizados em vários sistemas propulsivos.

Tabela 1. Fontes de energia e propelentes para vários conceitos de sistemas propulsivos. (Sutton (2001))

Sistema Propulsivo	Fonte de Energia*			Propelente ou fluido de trabalho
	Química	Nuclear	Solar	
Turbojato	D/P	TFD		Combustível + ar
Turboramjet	TFD			Combustível + ar
Ramjet (hidrocarbonetos)	D/P	TFD		Combustível + ar
Ramjet (Hidrogênio)	TFD			Hidrogênio + ar
Foguete químico	D/P	TFD		Propelente estocado
Foguete cinético	TFD			Combustível sólido estocado + ar
Foguete elétrico	D/P	TFD	D/P	Propelente estocado
Foguete a fissão nuclear		TFD		Hidrogênio estocado
Foguete a fusão nuclear		TFND		Hidrogênio estocado
Foguete solar aquecido			TFD	Hidrogênio estocado
Foguete de fótons		TFND		Ejeção de fótons (sem propelente estocado)
Veleiro solar			TFD	Reflexão de fótons (sem propelente estocado)

* D/P – desenvolvido e considerado prático; TFD - viabilidade técnica demonstrada, mas, o desenvolvimento é incompleto; TFND – viabilidade técnica ainda não demonstrada.

Motores-foguete são sistemas onde a matéria a ser ejetada é estocada internamente dentro do dispositivo que se move e podem ser lançados através de qualquer meio, água, ar ou no vácuo. A Fig. 3 apresenta um layout deste tipo de sistema.

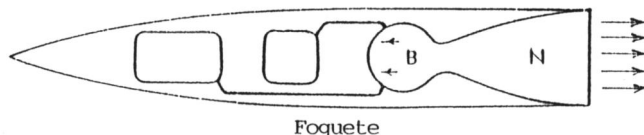


Figura 3. Motor-Foguete

Quanto ao propelente utilizado, os motores-foguete podem ainda ser classificados como:

Motores Sólidos –são sistemas nos quais o oxidante e o combustível estão misturados na forma sólida e podem ser homogêneos e não homogêneos. Um propelente sólido é dito homogêneo quando o oxidante e o combustível fazem parte da mesma molécula, por exemplo, propelentes de base dupla, uma mistura de nitroglicerina, nitrocelulose e aditivos estabilizantes. Um propelente onde o oxidante e o combustível não fazem parte da mesma molécula mas encontram-se misturados, por exemplo os propelentes composite, onde o oxidante é um sal, perclorato de amônia disperso num combustível, polibutadieno, polipropileno,etc. Muito utilizado em mísseis ou como “booster” de veículos lançadores de satélites ou como motores de apogeu.

A figura 4 mostra alguns tipos de motores foguete sólidos, com o gráfico correspondente ao empuxo fornecido conforme a forma de seu propelente (grão).

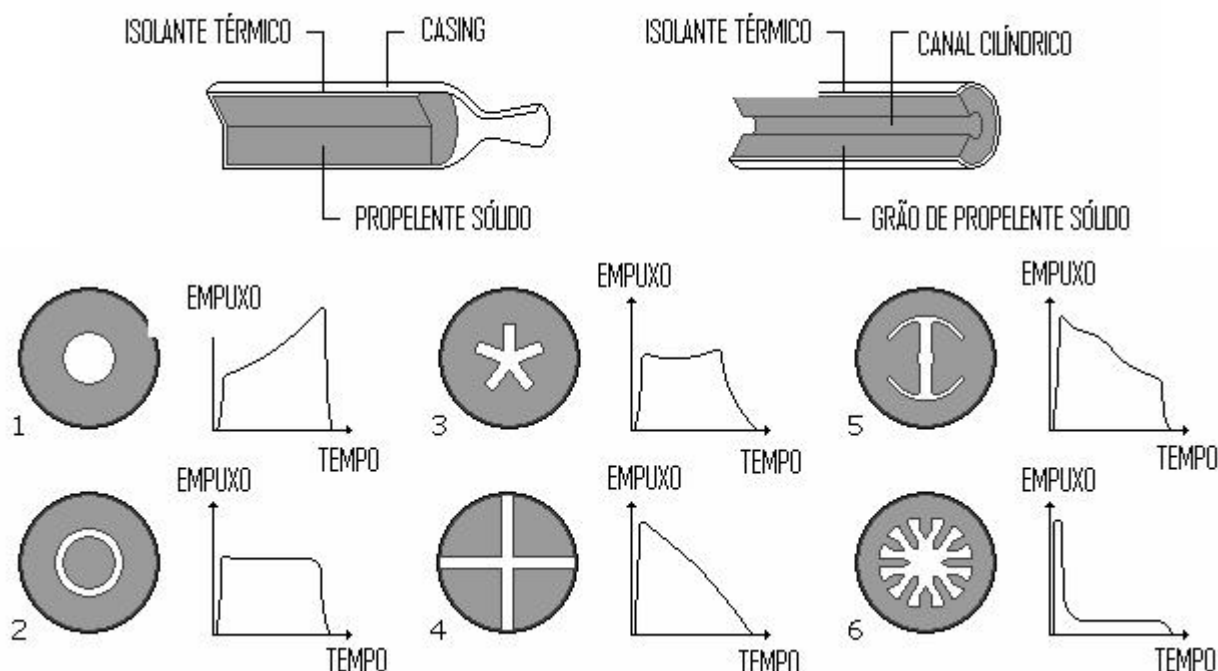


Figura 4. Motor Sólido e tipos de grãos utilizados e a curva de pressão correspondente.

Motores a Gás Frio – Estes sistemas são compostos por um único tanque onde é armazenado um gás pressurizado que é expandido num bocal convergente-divergente. Utilizado no controle de atitude de satélites ou plataformas espaciais.

Motores Monopropelentes – são sistemas onde um combustível é decomposto térmica e cataliticamente num leito catalítico, gerando gases quentes que são expandidos num bocal convergente-divergente produzindo empuxo. Utilizados para o controle de órbita e atitude de satélites e plataformas e veículos espaciais.

Motores Bipropelentes – são sistemas que utilizam um combustível e um oxidante que são introduzidos na câmara de combustão, queimados, gerando produtos de combustão a alta temperatura que são expandidos num bocal convergente-divergente produzindo empuxo. Muito utilizados em veículos lançadores, naves espaciais, controles de órbita, transferência de órbitas, etc.

Motores iônicos – Sistemas que utilizam gases a alta temperatura, plasmas como fluido de trabalho. Utilizados para pequenas correções que necessitam forças da ordem de micro newtons

Motores Nucleares – são sistemas que utilizam a energia nuclear associada com transformações de partículas dentro do núcleo dos átomos que podem ser de vários tipos, fissão, fusão ou decaimento de espécies radioativas.

Motores cinéticos são sistemas utilizados para a propulsão na atmosfera e utilizam o ar ambiente como oxidante nas reações de combustão. A Fig. 5 apresenta alguns exemplos destes dispositivos.

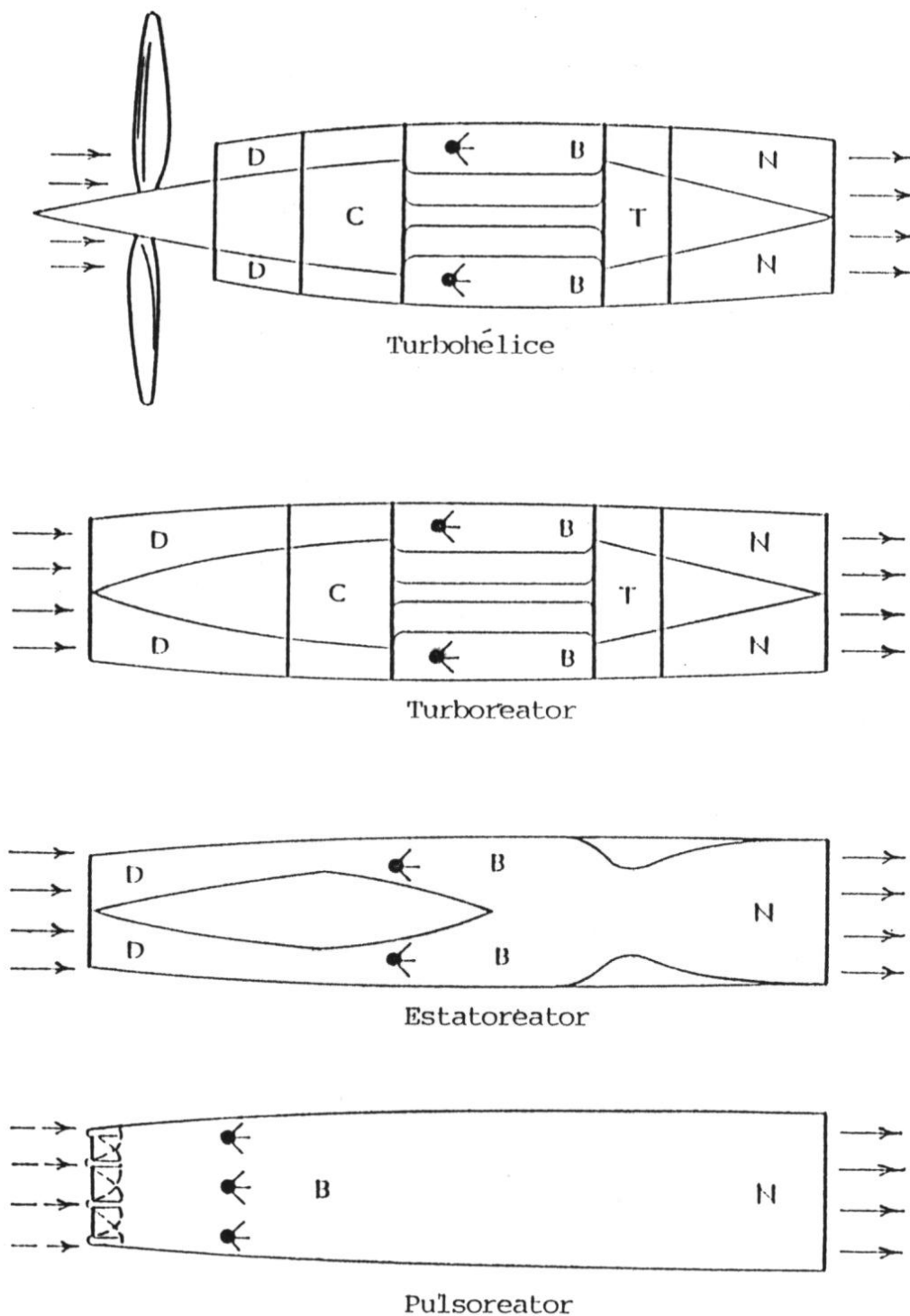


Figura 5. Exemplos de motores cinéticos (Air-breathing engines)

Dentro dos vários tipos de motores foguete vamos nos limitar aos sistemas mais utilizados na propulsão espacial, motores monopelentes e bipropelentes líquidos devido a sua importância.

3.1 Parâmetros de Desempenho de um motor Foguete

Empuxo – é a força de reação exercida sobre o foguete devido a ejeção de massa do sistema e, também, devido a resultante das forças de pressão internas e externas ao sistema. Aplicando-se a equação da conservação da quantidade de movimento do sistema em dois instantes de tempo, como mostra a figura 6.

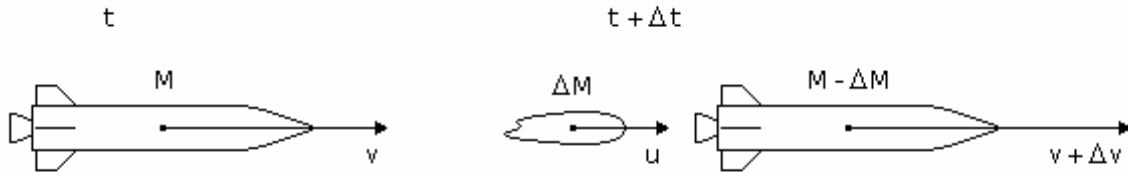


Figura 6. Motor foguete em dois instantes de tempo diferentes. Aplicação do princípio da conservação da quantidade de movimento do sistema.

E, a resultante das forças de pressão que agem nas paredes internas e externas do foguete, como mostra a Fig. 7.

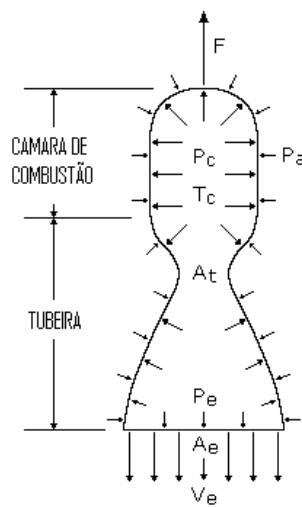


Figura 7. Forças de pressão agindo num motor foguete.

Obtêm-se:

$$F = m^* v_e^* + (P_e - P_0) A_e \quad (1)$$

Portanto, o empuxo de um motor foguete pode ser obtido pela adição de dois termos, um devido a ejeção de massa e outro devido as forças de pressão agindo na saída do bocal convergente-divergente do motor.

Outros parâmetros importantes são definidos como:

Impulso Específico – é definido como a razão entre o empuxo (F) e a vazão mássica (\dot{m}) ejetada multiplicada pela aceleração da gravidade ao nível do mar (g)

$$I_{sp} \equiv \frac{F}{\dot{m} g} \quad (2)$$

Coefficiente de Empuxo – é definido como a razão entre o empuxo e o produto da pressão na câmara de combustão pela área da garganta da tubeira.

$$C_F \equiv \frac{F}{P_c A_t} \quad (3)$$

Velocidade característica de exaustão – é definida como a razão entre o produto da pressão na câmara de combustão pela área da garganta e a vazão mássica. Este parâmetro indica a qualidade dos propelentes utilizados.

$$C^* \equiv \frac{P_c A_t}{\dot{m}} \quad (4)$$

3.2 Áreas de aplicações de satélites

Satélites podem oferecer à espécie humana uma infinidade de informações da Terra, dos Planetas e do espaço infinito e podem ser classificados conforme suas aplicações. Os primeiros satélites desenvolvidos no INPE foram os satélites de coleta de dados que recebiam e transmitiam informações meteorológicas de várias plataformas distribuídas por todo o Brasil. , o INPE em parceria com a AEB desenvolve projetos de satélites de sensoriamento remoto em parceria com a China, projeto CBERS.

TELECOMUNICAÇÕES – PRIMEIRO SUCESSO COMERCIAL, 200 SATÉLITES DE COMUNICAÇÕES, 100 BILHÕES DE DÓLARES

NAVEGAÇÃO E CONTROLE – SISTEMA GPS, CONSTELAÇÃO DE 18 SATÉLITES, 4 BILHÕES DE DÓLARES POR ANO

SENSORIAMENTO REMOTO - MONITORAMENTO DOS RECURSOS NATURAIS E DO MEIO AMBIENTE, 70 MILHÕES DE DÓLARES POR ANO

TRANSPORTE ESPACIAL – LANÇAMENTO DE SATÉLITES, 2 BILHÕES DE DÓLARES POR ANO, CERCA DE 70 À 90 LANÇAMENTOS POR ANO

MICROGRAVIDADE – SÍNTESE DE DROGAS FARMACEUTICAS, VIDROS E MATERIAIS CERÂMICOS, LIGAS METÁLICAS E MATERIAIS ELETRÔNICOS

ENERGIA DO ESPAÇO – O SOL É UMA FONTE DE ENERGIA NATURAL, GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE SATÉLITES DE POTÊNCIA SOLAR E ENVIADA POR UM FEIXE DE MICROONDAS DE 5 A 10 GW

RECURSOS EXTRATERRESTRES – MINERAÇÃO LUNAR, LABORATÓRIO LUNAR, BASE LUNAR, TURISMO ESPACIAL.

A estação espacial internacional (ISS), está sendo construída devido a cooperação de vários países, a Fig. 8 mostra uma maquete onde os países responsáveis pelos vários subsistemas estão especificados.

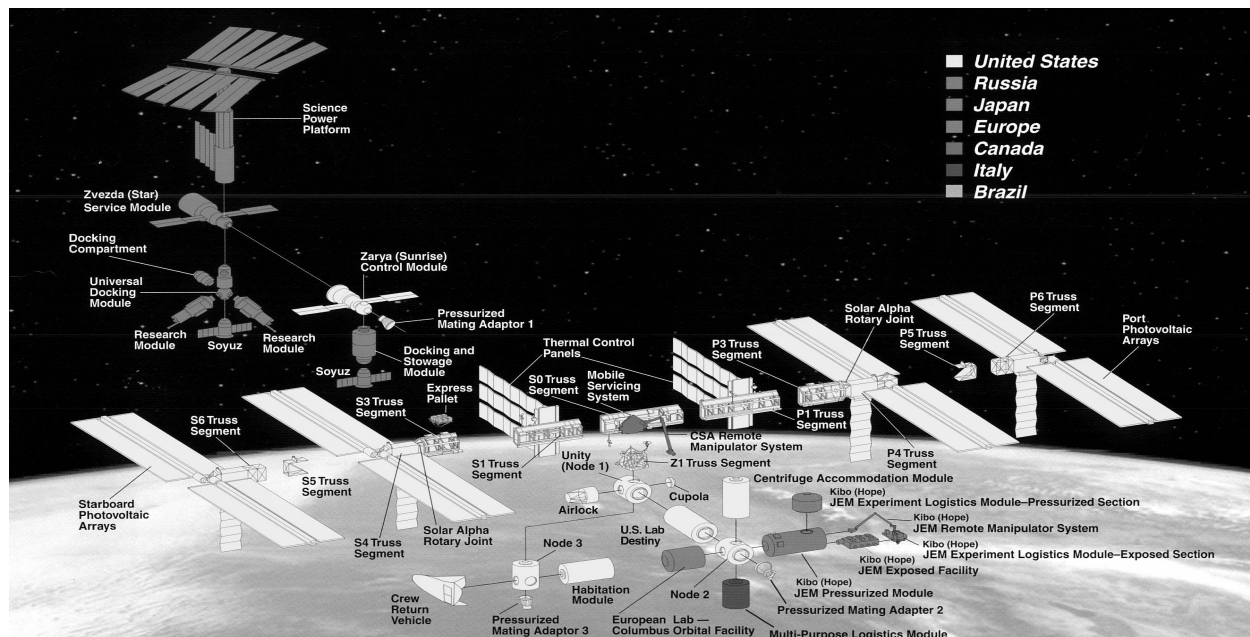


Figura 8. Países envolvidos na construção da Estação Espacial Internacional.

O ESPAÇO OFERECE À ESPÉCIE HUMANA :

UMA BASE DE RECURSOS NATURAIS

UMA FONTE DE ENERGIA E

UM SORVEDOURO PARA A POLUIÇÃO

4. Banco de Testes com Simulação de Altitude (BTSA)

No Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LCP) no Centro Espacial de Cachoeira Paulista (CES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), foi projetado e construído em parceria com a SNECMA, firma francesa, um banco de testes com simulação de altitude para a qualificação de sistemas propulsivos monopropelentes e bipropelentes líquidos numa faixa até 200 N de empuxo. A figura 9 apresenta um organograma das atividades desenvolvidas no LCP de uma maneira geral.