

Construção de Foguetes na Prática

Os primeiros foguetes construídos, as flechas de fogo dos chineses, não eram muito confiáveis. Muitos explodiam no lançamento. Outros percorriam trajetórias errantes e caíam no lugar errado. Ser um construtor de foguetes naquele tempo deveria ser emocionante, mas também muito perigoso.

Atualmente, os foguetes são bem mais confiáveis. Eles percorrem trajetórias precisas e são capazes de ser bem rápidos e escapar da força gravitacional da Terra que os puxa para baixo. Os foguetes modernos também são mais eficientes hoje em dia porque são conhecidos os princípios científicos que estão por trás da construção de foguetes. Nosso conhecimento levou-nos a desenvolver uma grande variedade de materiais para foguetes e a descobrir novos combustíveis que podem ser usados para decolagens com maior potência e para que as viagens possam ser mais longas.

Motores e Combustíveis para Foguetes

A maioria dos foguetes atuais funciona com combustíveis propulsores sólidos ou líquidos. As palavras *combustíveis propulsores* não significam apenas combustível, como você poderia pensar; significam tanto o combustível quanto o seu oxidante. O combustível é o produto químico que o foguete queima, mas para que a queima aconteça, um oxidante (oxigênio) deve estar presente. Os motores a jato tiram oxigênio do meio ambiente para colocá-lo nos seus motores. Os foguetes não contam com esse luxo que têm os aviões a jato; eles devem levar consigo o oxigênio para o espaço onde não há ar.

Os combustíveis propulsores sólidos, que são secos ao contato, contêm tanto o combustível quanto o oxidante combinados em um só produto. Normalmente, o combustível é uma mistura de compostos de hidrogênio e carbono, e o oxidante é feito de compostos de oxigênio. Os combustíveis propulsores líquidos, que normalmente são gases resfriados até tornarem-se líquidos, são mantidos em tanques separados, um para o combustível e outro para o oxidante.

Apenas antes da ignição é que os dois são misturados no motor.

Um foguete de combustível propulsor sólido tem o projeto mais simples de motor. Tem um bico, uma carcaça, isolamento, combustível propulsor e um ignitor. A carcaça do motor é normalmente de metal fino revestida com isolamento térmico para evitar que o combustível propulsor queime a parede de metal. O combustível propulsor fica também dentro de uma camada de isolamento térmico.

Muitos dos motores de combustível propulsor sólido apresentam um canal central que percorre o combustível propulsor. Motores sem esse núcleo devem ser acionados na parte mais baixa dos combustíveis propulsores e a queima se processa gradualmente de uma extremidade do foguete à outra. Em ambos os casos, somente a superfície do combustível propulsor queima. Entretanto, para que se consiga um maior empuxo usa-se o canal central. Isso aumenta a superfície dos combustíveis propulsores disponível para queima. Os combustíveis propulsores queimam de dentro para fora em uma velocidade muito maior, mandando massa para fora do escapamento com uma frequência e velocidade muito grandes. Isso resulta em um forte empuxo. Alguns canais de combustíveis propulsores são feitos com um perfil em forma de estrela para aumentar ainda mais as superfícies de queima.

Para ignição de combustíveis propulsores sólidos, muitos tipos de ignitores podem ser usados. As flechas de fogo eram acendidas por fusíveis, mas, às vezes, acendiam muito rápido e queimavam os foguetes. Um modo mais seguro e confiável para ignição usado atualmente é o que utiliza a eletricidade. Uma corrente elétrica, trazida através de fios de uma certa distância, aquece um arame especial dentro do foguete. O arame aumenta a temperatura do combustível propulsor que está em contato com ele ao ponto de combustão.

Outros ignitores são mais avançados do que o arame aquecido. Alguns ficam dentro de um produto químico que entra em combustão



antes, e depois acende os combustíveis propulsores. Ainda há outros, especialmente para foguetes maiores, que são motores de foguetes. O pequeno motor dentro do canal lança chamas e gás quente do topo do canal e acende toda a área da superfície dos combustíveis propulsores em uma fração de segundo.

O bocal de um motor de combustível propulsor sólido é uma abertura na parte de baixo do foguete que permite que os gases expandidos escapem. A parte estreita do bocal é a garganta. Imediatamente abaixo da garganta está o cone de exaustão.

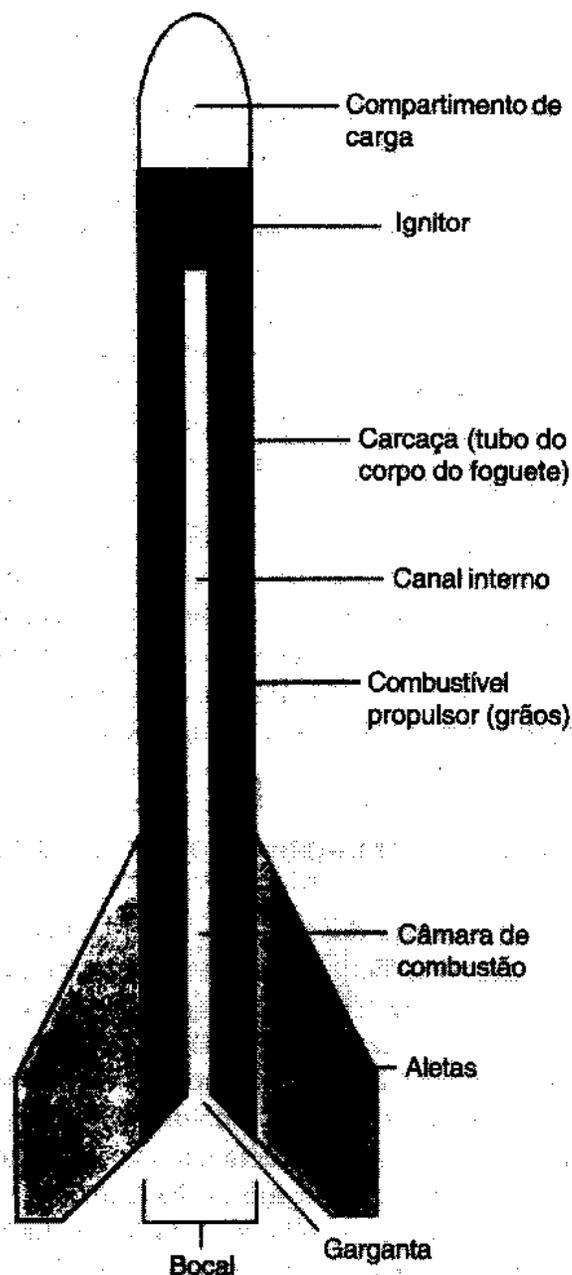
O objetivo do bocal é aumentar a aceleração dos gases à medida que deixam o foguete e, assim, melhorar ainda mais o empuxo. Ele faz isso diminuindo a abertura pela qual os gases podem escapar. Para ver como isso funciona, você pode fazer uma experiência com uma mangueira de jardim que tenha um bico para produzir jatos diferentes e jatos tipo chuveirinho. Esse tipo de bico não tem um cone de exaustão, mas não importa. O importante aqui é que o tamanho da saída pode variar.

Inicie com a maior abertura possível. Veja até onde vai o jato de água e sinta a força da água que sai. Agora reduza o diâmetro da abertura, e, novamente, observe a distância a que a água chega e a força de saída. Os bocais de foguete funcionam da mesma maneira.

Como no caso da carcaça de um foguete, é necessário isolamento térmico do bocal para protegê-lo dos gases em alta temperatura. O isolamento convencional é do tipo que vai se desfazendo à medida que os gases vão passando. Pequenos pedaços do material de isolamento vão quebrando devido à alta temperatura e vão saindo juntamente com os gases. Ao saírem, levam o calor com eles.

O outro tipo mais conhecido de motor de foguete é o que utiliza combustíveis propulsores líquidos, que podem ser bombeados ou alimentados ao motor por pressão. Esse motor é bem mais complicado, como é evidenciado pelo fato de que os foguetes com combustíveis propulsores sólidos terem sido usados por mais de setecentos anos antes que um foguete de combustível propulsor líquido fosse testado pela primeira vez. Os combustíveis propulsores líquidos possuem tanques de armazenagem separa-

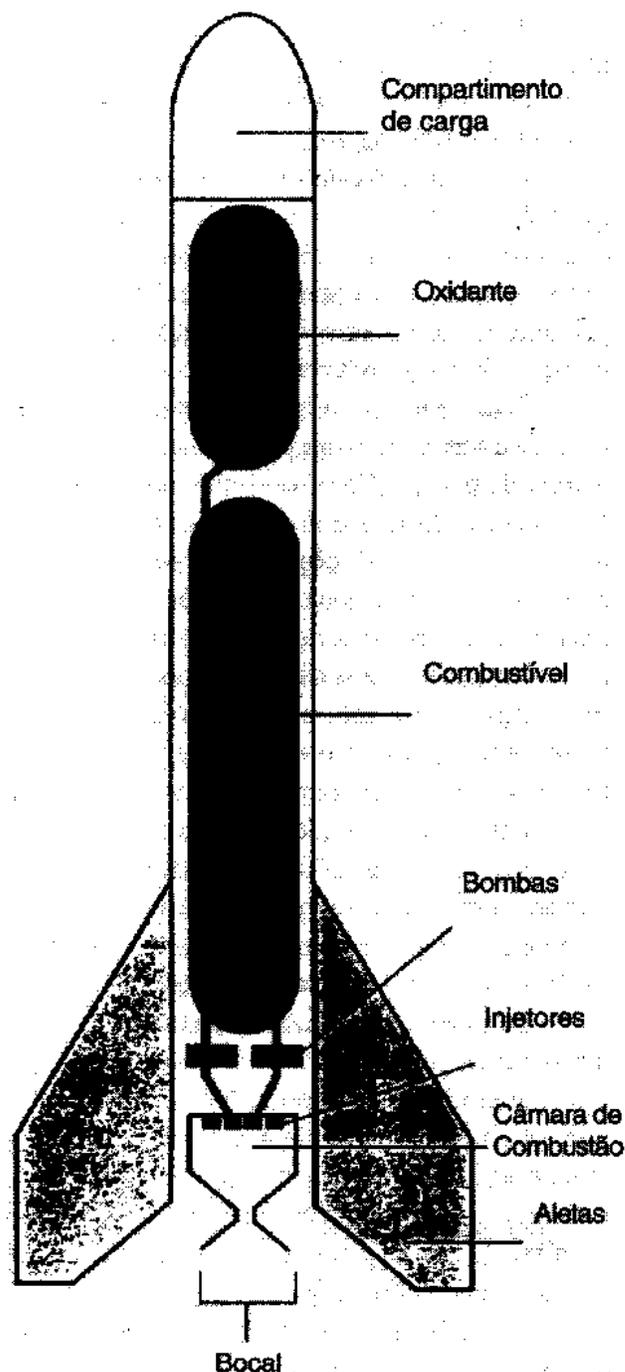
dos - um para o combustível e outro para o oxidante. Eles também possuem uma câmara de combustão e um bocal.



Foguete de combustíveis propulsores sólidos.

O combustível de um foguete de combustível propulsor líquido é normalmente querosene ou hidrogênio líquido; o oxidante é normalmente o oxigênio. Eles são combinados dentro de uma cavidade chamada de câmara de combustão. Nela, os combustíveis propulsores queimam-se e causam aumento de temperatura e pressão, e o gás em expansão escapa através do bocal pela parte de baixo do foguete. Para conseguir a maior potência dos combustíveis propulsores, eles

devem ser misturados da forma mais completa possível. Pequenos injetores (bicos) na parte de cima da câmara de combustão esguicham e misturam os combustíveis propulsores ao mesmo tempo. Como a câmara opera em altas temperaturas, os combustíveis propulsores precisam ser forçados para dentro. Os foguetes mais modernos com combustíveis propulsores líquidos utilizam bombas de turbinas com baixo peso e muita potência para essa tarefa.



Foguete de combustíveis propulsores líquidos.

Com qualquer foguete, e especialmente com os de combustíveis propulsores líquidos, o peso é um fator importante. Geralmente, quanto mais pesado o foguete, mais empuxo será necessário para tirá-lo do chão. Devido às bombas e às tubulações de combustível, os motores com combustíveis propulsores líquidos são mais pesados do que os motores com combustíveis propulsores sólidos.

Um método especialmente bom para reduzir o peso dos motores com combustíveis propulsores líquidos é confeccionar o cone do bocal com metais muito leves. Entretanto, os gases extremamente quentes e em altíssima velocidade que passam por ali rapidamente derreteriam o metal. Portanto, é necessário um sistema de resfriamento. Um sistema de resfriamento muito eficiente, embora muito complexo, usado com alguns motores de combustíveis propulsores líquidos, utiliza a temperatura baixa do hidrogênio líquido. O hidrogênio se liquefaz quando resfriado a -253°C . Antes de injetar o hidrogênio na câmara de combustão, ele circula através de pequenos tubos que circundam o cone de exaustão. Em uma visão em corte, a parede do cone se parece com a beirada de papelão ondulado. O hidrogênio nos tubos absorve o excesso de calor que entra nas paredes do cone e evita que ele derreta as paredes do cone. Isso também torna o hidrogênio mais energético devido ao calor que ele absorve. Chamamos esse tipo de sistema de resfriamento regenerativo.

Controle de Empuxo do Motor

O controle do empuxo de um motor é muito importante para o lançamento de cargas à órbita. O empuxo por um intervalo de tempo curto demais ou longo demais colocará um satélite na órbita errada. Isso pode fazer com que ele vá para muito longe onde já não possa ser útil ou pode fazer com que ele caia de volta na Terra. O empuxo na direção errada ou no momento errado também resulta em situação semelhante.

Um computador, no sistema de direcionamento do foguete, determina quando esse empuxo é necessário e liga ou desliga o motor adequadamente. Os motores a combustível líquido fazem isso apenas iniciando ou parando o fluxo dos combustíveis propulsores na

câmara de combustão. Em vôos mais complicados, como para ir à Lua, os motores devem ser ligados e desligados várias vezes.

Alguns motores de propulsão a líquido controlam a quantidade de empuxo variando a quantidade de combustíveis propulsores que entra na câmara de combustão. Normalmente, o empuxo do motor varia com o objetivo de controlar a aceleração experimentada pelos astronautas ou para limitar as forças aerodinâmicas sobre um veículo.

Os foguetes com combustíveis propulsores sólidos não são tão fáceis de controlar como os de combustíveis propulsores líquidos. Uma vez iniciada a queima, queimarão até que acabem. É difícil parar a queima ou diminuir a sua velocidade. Algumas vezes são construídos extintores de incêndio dentro do motor para parar um foguete durante o vôo. Mas seu uso é um procedimento muito delicado e nem sempre funciona. Alguns motores a combustível sólido possuem aberturas nas laterais que podem ser liberadas por controle remoto para diminuir a pressão na câmara e acabar com o empuxo.

A frequência de queima dos combustíveis propulsores sólidos é planejada cuidadosamente antes do vôo. O canal que percorre os combustíveis propulsores no sentido do comprimento pode ser feito em formato de estrela. A princípio, há uma grande superfície disponível para queima, mas, à medida que as pontas da estrela se consomem, a área de superfície diminui. Por um tempo, queima-se menos combustível propulsor, e isso reduz o empuxo. O Ônibus Espacial usa essa técnica para reduzir as vibrações do início de seu vôo em órbita.

Observação: Embora a maioria dos foguetes utilizados pelos governos e organizações de pesquisa sejam muito confiáveis, ainda há um grande perigo associado à construção e ao acionamento de foguetes. Pessoas interessadas nessa área nunca devem tentar construir seus próprios foguetes. Mesmo os motores mais simples são muito complexos. A força de explosão da carcaça, a densidade de compactação do combustível propulsor, o projeto do bocal e a química do combustível propulsor são problemas de projeto além do domínio da maioria dos amadores. Muitos motores de foguetes construídos em casa explodiram nas mãos dos

construtores, ocasionando trágicas conseqüências.

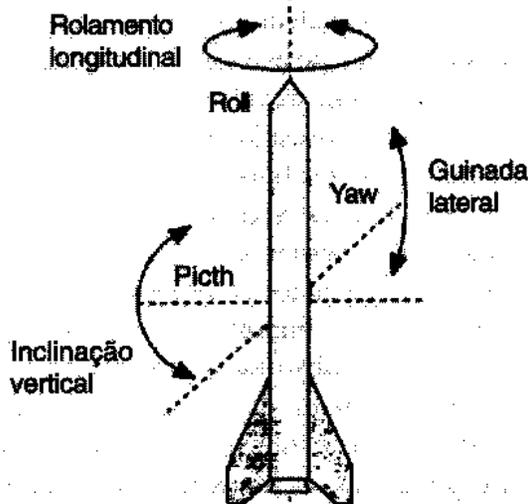
Sistemas de Controle e Estabilidade

A construção de um motor de foguete eficiente é apenas parte do problema da produção de um foguete de sucesso. O foguete também tem de ser estável no vôo. Um foguete estável é aquele que voa suavemente, em direção uniforme. O foguete instável voa em uma trajetória errante, às vezes capotando ou mudando de direção. Os foguetes instáveis são perigosos porque não é possível prever onde irão. Eles podem acabar virando para baixo e caindo sobre a plataforma de lançamento.

A construção de um foguete estável requer alguma forma de sistema de controle. Os controles podem ser ativos ou passivos. A diferença entre eles será discutida adiante. É importante entender, primeiro, o que torna um foguete estável ou instável.

Toda matéria, sem importar seu tamanho, massa ou forma, tem um ponto interno chamado *centro da massa* (CM) ou centro de gravidade. Esse centro da massa é o ponto exato em que toda a massa desse objeto está perfeitamente equilibrada. Você pode encontrar o centro da massa de um objeto como uma régua, por exemplo, equilibrando-a sobre seu dedo. Se o material usado para a fabricação da régua for uniforme em espessura e densidade, o centro da massa deverá ser exatamente no meio da régua. Se a régua for de madeira e martelarmos um prego pesado em uma de suas extremidades, o centro da massa não será mais no meio. O ponto de equilíbrio ficará mais próximo da extremidade onde foi colocado o prego.

O centro da massa é importante nos vôos de foguetes porque é ao redor desse ponto que um foguete instável capota. Na verdade, qualquer objeto em vôo tende a rodar. Experimente lançar no ar uma vareta, e verá que ela gira várias vezes. Lance uma bola no ar e ela também irá girar. O ato de girar ou rodar é um modo de tornar-se estável no vôo. Um disco de brinquedo ("frisbee") irá onde você quer, dependendo da força com que você o girar. Experimente lançar um "frisbee" sem girar. Se conseguir, verá que ele percorrerá uma trajetória errante e cairá muito longe do lugar que você tinha como alvo.



Em voo, o giro ou o movimento rotatório acontece ao redor de um ou mais de três eixos. Eles são chamados rolamento longitudinal, ("roll"), inclinação vertical, ("pitch"), ou guinada lateral ("yaw"). O ponto em que os três eixos se encontram é o centro da massa. Para o voo do foguete os eixos de inclinação vertical e guinada lateral são os mais importantes porque qualquer movimento ao redor de um desses eixos faz o foguete mudar de direção. O eixo de rolamento longitudinal é o menos importante porque o movimento ao redor desse eixo não afeta a trajetória do voo. Na verdade, o movimento de rolamento ajuda a estabilizar o foguete do mesmo modo com que uma bola de futebol americano chega no lugar certo, de modo estável, porque é lançada girando. Embora uma bola malpassada ainda chegue no lugar, um foguete que capota não chegará. A energia da ação-reação de um passe de futebol será gasta pelo lançador no momento em que ele lança a bola. Com foguetes o empuxo do motor ainda está sendo produzido enquanto o foguete está em voo.



Movimentos instáveis nos eixos de inclinação vertical e guinada lateral farão com que o foguete deixe a trajetória planejada. Para evitar que isso aconteça, é necessário um sistema de controle para evitar, ou pelo menos minimizar, os movimentos instáveis.

Além do centro da massa, há um outro centro importante dentro do foguete que afeta o voo. É o centro de pressão (CP). O centro de pressão existe somente quando o ar está passando pelo foguete em movimento. Esse fluxo de ar, esfregando-se ou fazendo força contrária à superfície do foguete, pode causar o início do movimento ao redor de um dos três eixos. Pense por um momento em uma seta meteorológica. Trata-se de uma seta de metal colocada no alto do telhado para dizer a direção do vento. A seta é presa a uma haste vertical que funciona como um ponto pivô. A seta é equilibrada para que o centro da massa fique exatamente no ponto em que toca o pivô. Quando o vento sopra, a seta gira e a ponta da seta aponta para o lugar de onde o vento está vindo. O rabo da seta aponta para onde o vento está indo.

A razão pela qual a ponta da seta aponta para o lugar de onde o vento está vindo é que o rabo possui uma superfície maior do que a ponta. O ar em movimento bate com maior força no rabo do que na ponta, e, portanto, o rabo é empurrado para mais longe. Há um ponto da seta em que a área da superfície é a mesma de um lado e do outro. Esse ponto é chamado de centro de pressão. O centro de pressão não está no mesmo lugar do centro da massa. Se estivesse, nenhuma extremidade da seta seria favorecida pelo vento e ela não apontaria para lugar nenhum. O centro de pressão está entre o centro da massa e o rabo da seta. Isso significa que o rabo tem área de superfície maior do que a área da ponta.

É importante que o centro de pressão de um foguete esteja mais perto do rabo e o centro da massa mais perto do nariz. Se estivessem no mesmo lugar ou muito próximos um do outro, o foguete apresentaria um voo instável. O foguete tentaria girar sobre si mesmo ao redor do centro da massa nos eixos de inclinação vertical e guinada lateral, produzindo uma situação muito perigosa. Com o centro de pressão no lugar correto, o foguete permanecerá estável.

Os sistemas de controle para foguetes têm como objetivo manter o foguete estável em seu voo e direcioná-lo. Pequenos foguetes requerem apenas um sistema de controle de estabilização. Foguetes maiores, como os que lançam satélites em órbita, requerem um sistema que não só o estabilize, mas que também dê a ele a capacidade de mudar de curso em pleno voo.

Os controles dos foguetes podem ser ativos ou passivos. *Controles passivos* são dispositivos fixos que mantêm os foguetes estabilizados pela sua presença na parte externa do foguete. Os *controles ativos* podem ser movimentados enquanto o foguete está voando para estabilizá-lo ou mudá-lo de direção.

O tipo mais simples de controle passivo é uma vareta. As flechas de fogo dos chineses eram foguetes simples montados nas pontas de varretas. A vareta mantém o centro de pressão atrás do centro da massa. Apesar disso, as flechas de fogo não eram muito precisas. Antes de o centro de pressão conseguir ter efeito, o ar tinha de passar pelo foguete. Enquanto ainda estavam no solo, as flechas poderiam desviar-se e sair voando para o lado errado.

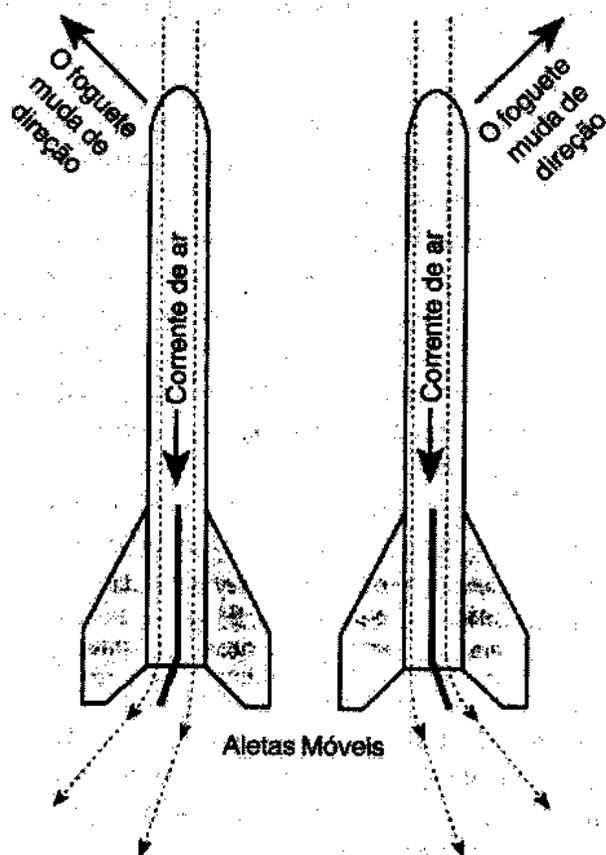
Anos mais tarde, a precisão das flechas de fogo foi melhorada consideravelmente com

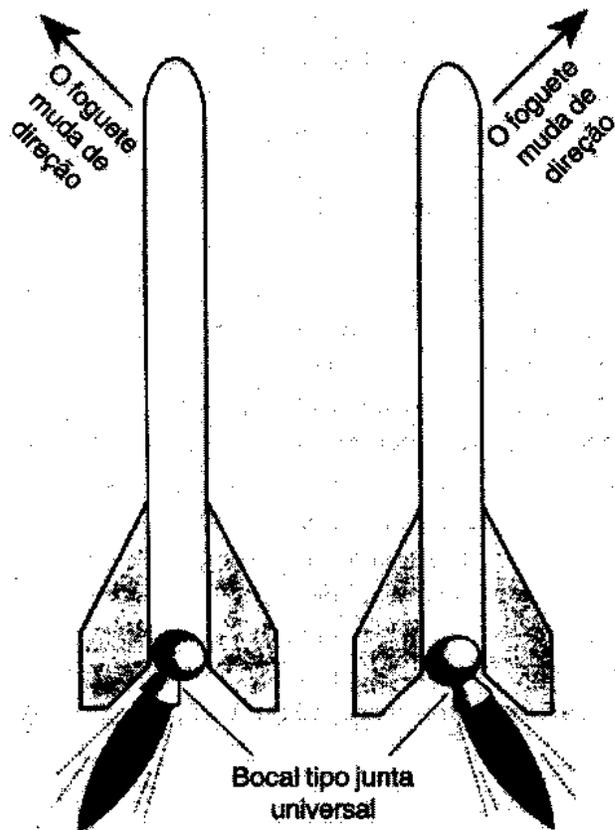
a montagem delas em uma canaleta direcionada corretamente. A canaleta guiava as flechas na direção correta até que estivessem bem rápidas para se estabilizarem sozinhas.

Como será explicado no próximo item, o peso do foguete é um fator crucial no seu desempenho e alcance. A vareta da flecha de fogo acrescentou muito peso morto ao foguete e, portanto, limitou seu alcance consideravelmente.

Uma melhoria importante na construção de foguetes foi a substituição das varretas por agrupamentos de aletas de pouco peso montadas ao redor da parte inferior e perto do bocal. As aletas poderiam ser fabricadas em material leve e poderiam ser bem finas. Elas deram aos foguetes a aparência de dardos. A área de superfície grande das aletas mantinha facilmente o centro de pressão atrás do centro de massa. Alguns experimentadores entortavam a ponta das aletas como em um cata-vento para conseguir o giro do foguete mais rapidamente. Com essas aletas entortadas, os foguetes tornaram-se muito mais estáveis no voo. Mas, esse projeto também produzia mais arrasto e limitava o alcance dos foguetes.

Com o início da era moderna da construção dos foguetes no século XX, foram procuradas novas maneiras de melhorar a estabilidade dos foguetes e, ao mesmo tempo, reduzir seu peso total. A resposta para isso foi o desenvolvimento dos controles ativos. Os sistemas de controle ativo incluíram pás, aletas basculantes, *canards*, bocais universais, foguetes de vernier, injeção de combustível e foguetes de controle de atitude. As aletas basculantes e os *canards* têm aparência bem semelhante. A única diferença real entre eles é sua localização nos foguetes. Os *canards* são montados na parte da frente do foguete, enquanto as aletas basculantes são montadas na parte de trás. No voo, as aletas e os *canards* mudam de posição como lemes para desviar o fluxo de ar e fazer com que o foguete mude de direção. Os sensores de movimento no foguete detectam alteração de direção não-planejada, e podem ser feitas as correções de voo através da leve inclinação das aletas e dos *canards*. A vantagem desses dois dispositivos é seu tamanho e peso. São menores e mais leves e produzem menos atrito do que as aletas grandes.





Outros sistemas de controle ativo podem eliminar as aletas e os *canards*. Através da inclinação do ângulo pelo qual o gás deixa o motor do foguete pode fazer com que mude de direção durante o voo. Podem ser usadas diversas técnicas para modificar a direção do escape.

As pás são pequenos dispositivos parecidos com as aletas que são colocados dentro do escapamento do motor de um foguete. A inclinação das pás desvia o escape e, pelo princípio da ação e reação, o foguete responde apontando para a direção oposta.

Um outro método para alterar a direção do gás de escape é a inclinação do bocal. Um bocal tipo junta universal é aquele capaz de mudar de posição enquanto os gases passam por ele. Modificando a orientação do bocal na direção correta, conseguimos que o foguete mude de direção como resposta.

Foguetes de Vernier também podem ser usados para mudar a direção. Eles são pequenos foguetes montados na parte de fora do motor principal. Quando necessário, são acionados, produzindo a alteração de curso desejada.

No espaço, o mero girar do foguete ao longo do eixo de rolamento ou o uso de controles ativos envolvendo o escape do motor pode estabilizar ou mudar a direção de um foguete.

Sem ar, aletas e *canards* não têm serventia. (Filmes de ficção científica mostrando foguetes no espaço com asas e aletas demonstram ser mais ficção do que científicos.) Ao voar pelo espaço, os controles ativos mais normalmente usados são foguetes de controle de atitude. Pequenos grupos de motores são montados ao redor do veículo. Acionando a combinação correta desses pequenos foguetes, o veículo pode ser direcionado para qualquer curso. Desde que orientado corretamente, os motores principais o levam para a nova direção.

Massa

A massa é outro fator importante que afeta o desempenho de um foguete. A massa de um foguete pode fazer a diferença entre um voo bem sucedido e apenas uma voltinha perto da plataforma de lançamento. Como um dos princípios básicos dos vãos de foguetes, podemos dizer que para que um foguete saia do chão, o motor deverá produzir um empuxo que seja maior do que a massa total do veículo. É óbvio que um foguete com uma grande quantidade de massa desnecessária não será tão eficiente quanto um foguete bem enxuto levando apenas o essencial.

Para um foguete ideal, a massa total do veículo deve estar distribuída de acordo com a seguinte fórmula:

Da massa total, 91 por cento devem ser de combustíveis propulsores; 3 por cento devem ser dos tanques, motores, aletas etc.; e 6 por cento podem ser ocupados pela carga.

As cargas podem ser satélites, astronautas ou naves espaciais que viajarão a outros planetas ou luas.

Para determinar a eficiência do projeto de um foguete, os construtores usam o termo fração de massa (FM). A massa dos combustíveis propulsores do foguete dividida pela massa total do foguete dá a fração da massa:

$$FM = \frac{\text{massa dos combustíveis propulsores}}{\text{Massa total}}$$

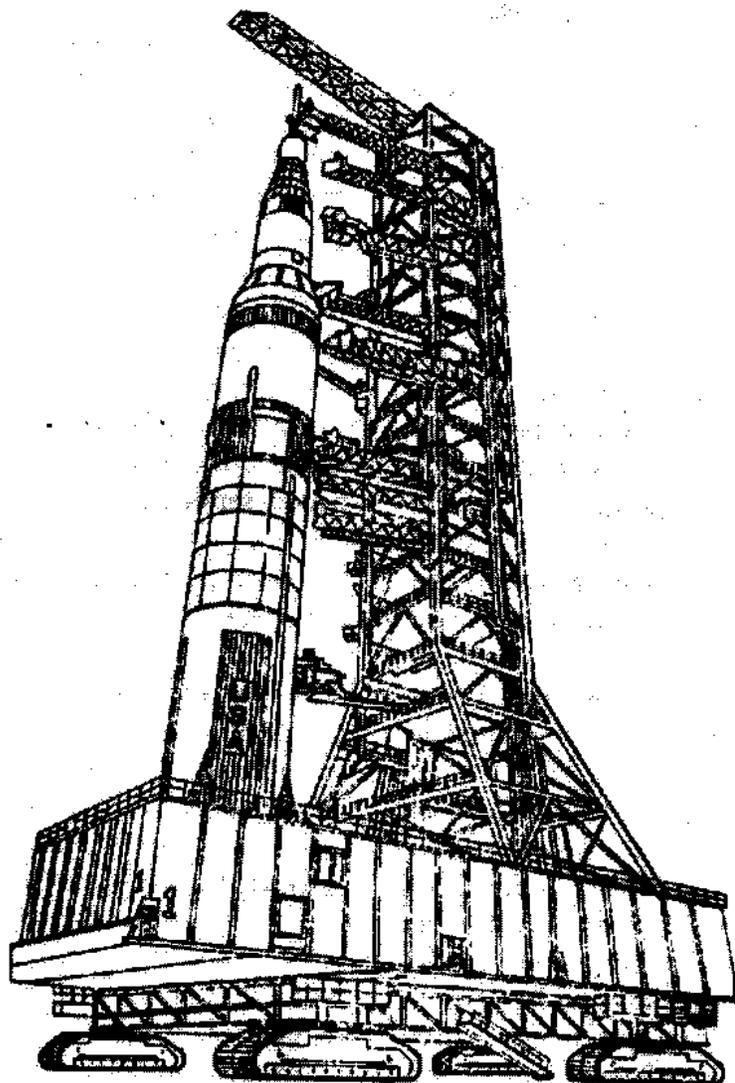
A fração de massa ideal de um foguete dada acima é 0,91. Da fórmula da fração da massa podemos pensar que uma fração de massa de 1,0 pode estar perfeita, mas, então, o

foguete todo não seria mais do que um monte de combustível propulsor que acenderia numa imensa bola de fogo. Quanto maior o número dado na fórmula de fração de massa, menor a carga que o foguete poderá levar; quanto menor a fração de massa, menor seu alcance. Um número de fração de massa de 0,91 é um bom equilíbrio entre a capacidade de carga e o alcance. O Ônibus Espacial tem uma FM de aproximadamente 0,82. A FM varia de acordo com as diferentes cargas de cada missão.

Grandes foguetes capazes de levar naves ao espaço têm sérios problemas de peso. Para chegar ao espaço e a velocidades orbitais adequadas é necessária uma grande quantidade de combustíveis propulsores; portanto, os tanques, os motores e o equipamento a eles associados ficam também maiores. Até um certo ponto, os foguetes maiores podem carregar mais carga do que os fo-

guetes menores, mas quando ficam muito grandes, sua estrutura os faz ficarem tão pesados que a FM fica reduzida a um valor impossível.

A solução para o problema de os foguetes gigantes pesarem muito pode ser atribuída ao fabricante de fogos de artifício do século XVI, Johann Schmidlap. Schmidlap acoplou pequenos foguetes aos foguetes grandes. Quando o foguete grande apagava, a carcaça dele caía e os outros foguetes acionavam. (O Ônibus Espacial segue o princípio do foguete de estágio, soltando os seus aceleradores sólidos e o tanque externo quando acaba o combustível contido neles.) Os foguetes usados por Schmidlap foram chamados de foguetes de estágios. Hoje, essa técnica de construção de foguetes é chamada de técnica dos estágios. Graças aos estágios, tornou-se possível chegar, não só ao espaço mais longínquo, como também à Lua e a outros planetas.



Foguete Saturno 5 sendo transportado à torre de lançamento.

Álbum de Família dos Veículos Lançadores

As fotografias nas páginas que se seguem servem como um "álbum de família" parcial dos veículos de lançamento da NASA. A NASA não desenvolveu todos os foguetes mostrados, mas aplicou cada um deles em seu objetivo de "explorar a atmosfera e o espaço com propósitos pacíficos para o bem de todos." O álbum contém foguetes históricos, aqueles em uso, atualmente, e os projetos conceituais que podem ser usados no futuro. Estão organizados em três grupos: foguetes para o lançamento de satélites e sondas espaciais, foguetes para o lançamento de astronautas ao espaço e conceitos de veículos para uso no futuro.

O álbum conta a história de quase 40 anos de transportes espaciais pela NASA. Os foguetes sondaram as camadas mais altas da atmosfera da Terra, levaram naves à órbita da Terra e enviaram naves ao sistema solar e além dele. Os primeiros foguetes usados pela NASA, como o Redstone e o Atlas, começaram como mísseis balísticos intercontinentais. Os cientistas e en-

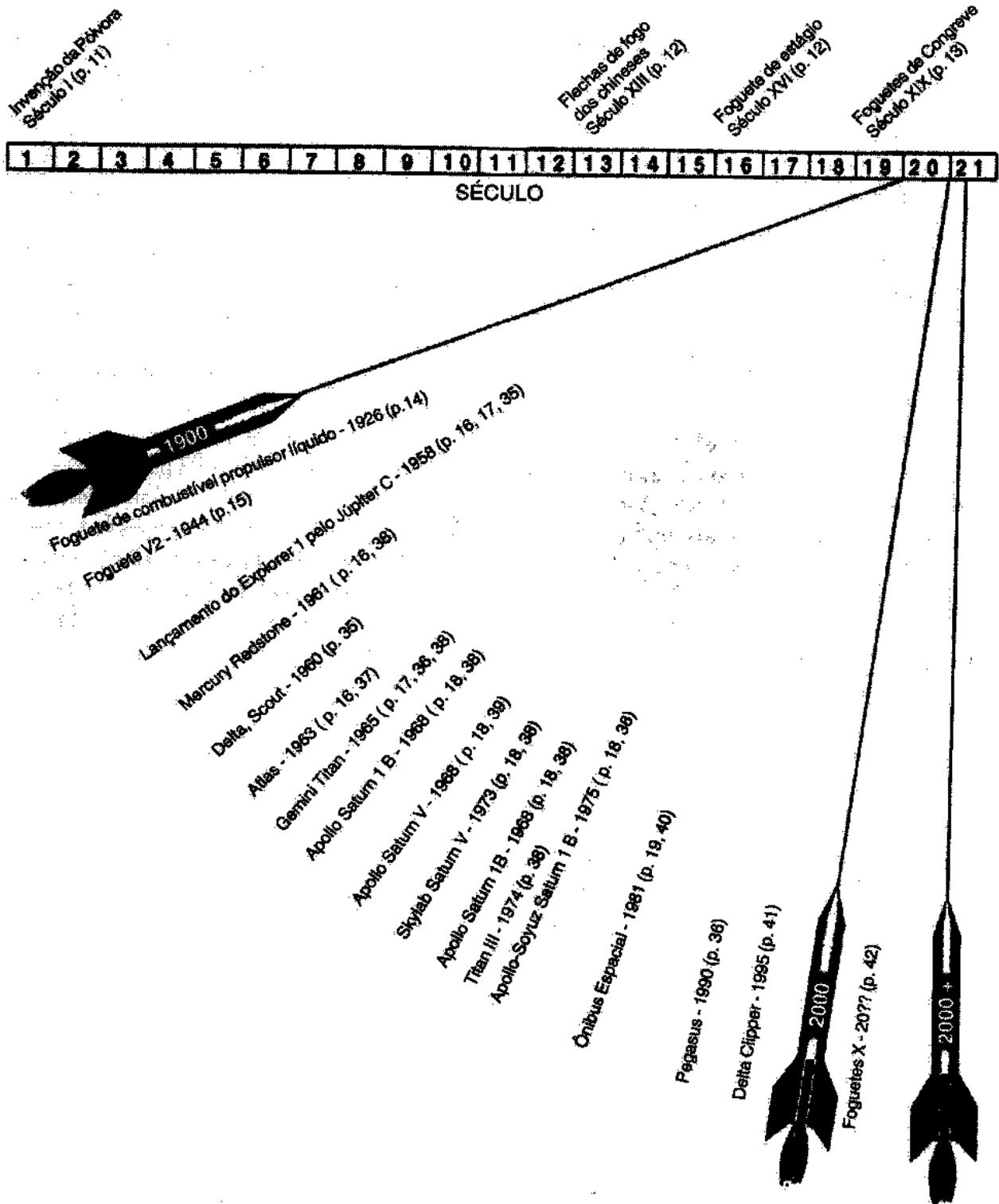
genheiros da NASA os consideraram ideais para levar equipamento e seres humanos ao espaço. À medida que as necessidades de volume de carga aumentaram, a NASA começou a modificar os projetos de seus próprios foguetes e a construir estágios superiores para usar com os foguetes existentes. O envio de astronautas à Lua exigiu um foguete maior do que o foguete que levava um pequeno satélite à órbita da Terra.

Atualmente, o único veículo da NASA usado para levar astronautas ao espaço é o Ônibus Espacial. Projetado para ser reutilizável, seus foguetes aceleradores sólidos possuem sistemas de recuperação através de pára-quadras. O Ônibus é uma nave com asas que volta para a Terra como um avião. O tanque externo é a única parte do veículo que tem de ser substituída após cada missão.

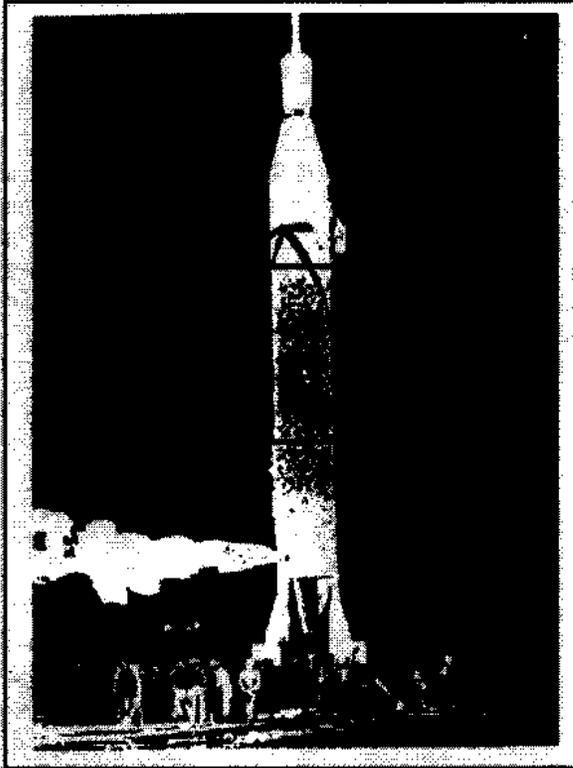
Os veículos de lançamento do futuro continuarão a se servir da experiência do passado. Tornar-se-ão mais versáteis e mais baratos para operarem à medida que novas tecnologias estejam disponíveis.



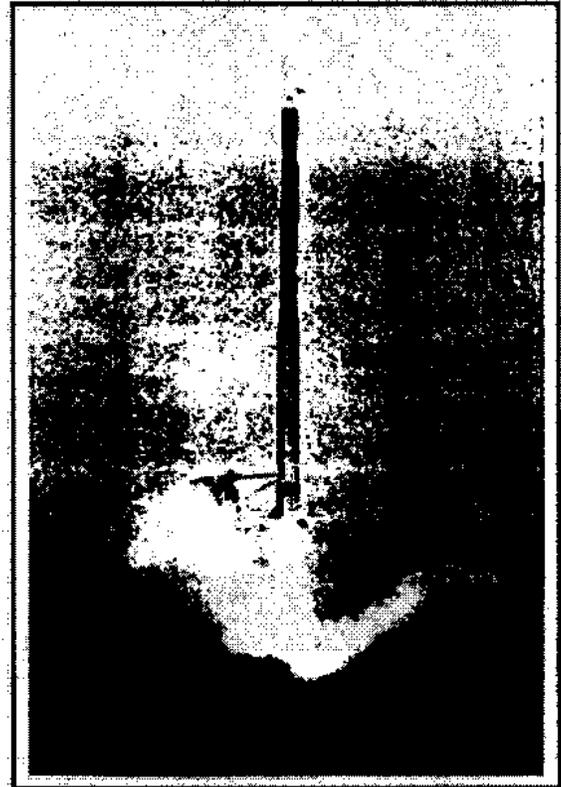
Linha do Tempo dos Foguetes



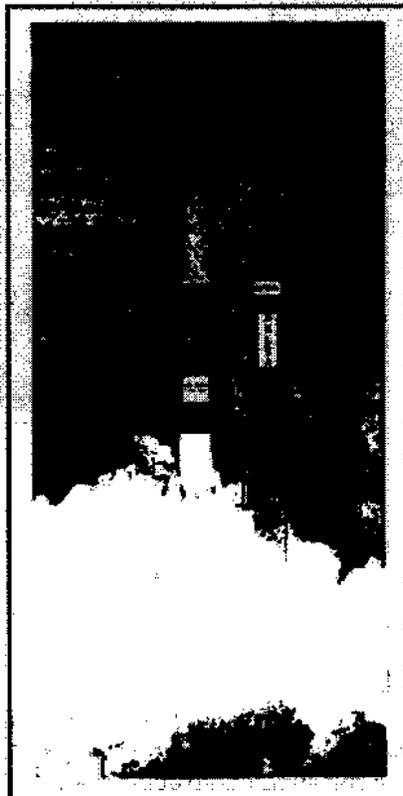
A maioria dos desenvolvimentos mais importantes sobre foguetes aconteceu no século XX. Depois de 1958, todos os desenvolvimentos estão relacionados às missões da NASA ao espaço. Informamos aqui os anos em que um determinado sistema de foguete voou pela primeira vez. Informações adicionais sobre esses eventos podem ser encontradas neste Manual, nas páginas indicadas entre parênteses.



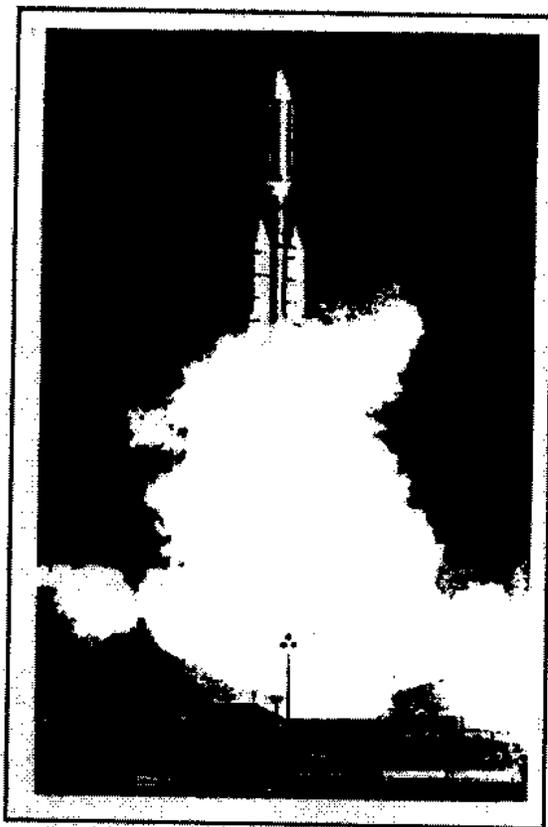
Engenheiros preparam o foguete Júpiter-C que levou o *Explorer 1* ao espaço no dia 31 de janeiro de 1958.



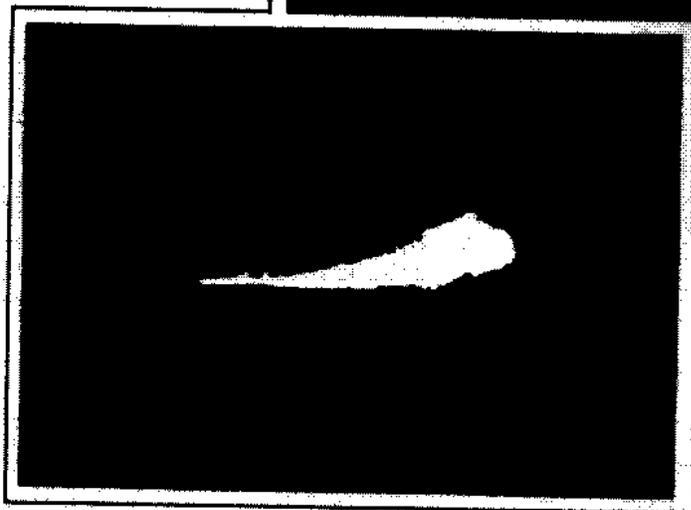
O foguete Scout da NASA é um foguete acelerador sólido de quatro estágios que pode lançar pequenos satélites à órbita da Terra. O Scout tem uma capacidade de carga de cerca de 140 quilogramas e pode atingir uma altura de 185 quilômetros na órbita da Terra. A NASA usou o Scout por mais de 30 anos. Este lançamento de 1965 levou o satélite científico *Explorer 27*.



Um dos foguetes mais bem-sucedidos da NASA é o Delta. O Delta pode ser configurado em uma variedade de formas para mudar seu desempenho de acordo com a missão. É capaz de levar mais de 5.000 quilogramas a uma altura de 185 quilômetros ou 1.180 quilogramas à órbita geossíncrona com o acoplamento de um estágio acelerador. Este Delta levou o satélite de comunicação *Galaxy-C* ao espaço no dia 21 de setembro de 1984.

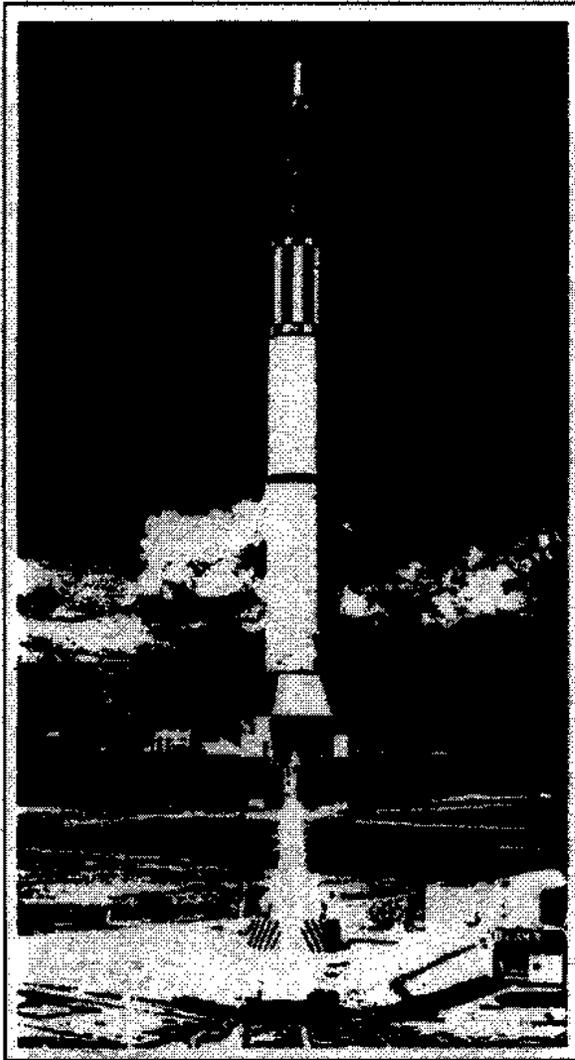


Um foguete Titan III Centaur carregou o *Voyager 1*, a primeira nave interplanetária a voar a Júpiter e Saturno, ao espaço no dia 5 de setembro de 1975. Esse Titan, um míssil da Força Aérea Norte-americana, combinado com o estágio superior Centaur da NASA e dois aceleradores montados nas laterais, ofereceu o empuxo necessário para o lançamento do *Voyager*.

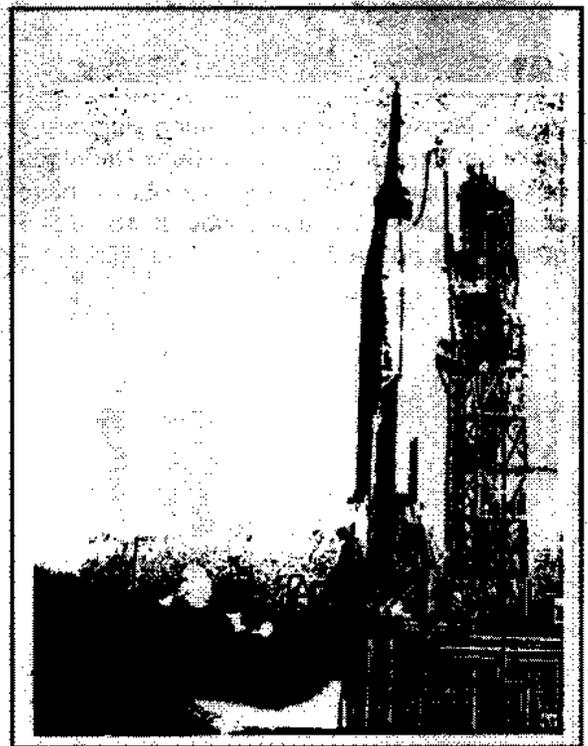


O Pegasus no ar em direção à órbita da Terra, depois de seu lançamento por um avião B-52 da NASA. O foguete, construído pela Orbital Sciences Corporation e pela Hercules Aerospace Company, é uma solução econômica para levar pequenos satélites à órbita da Terra. Este lançamento aconteceu no dia 5 de abril de 1990.

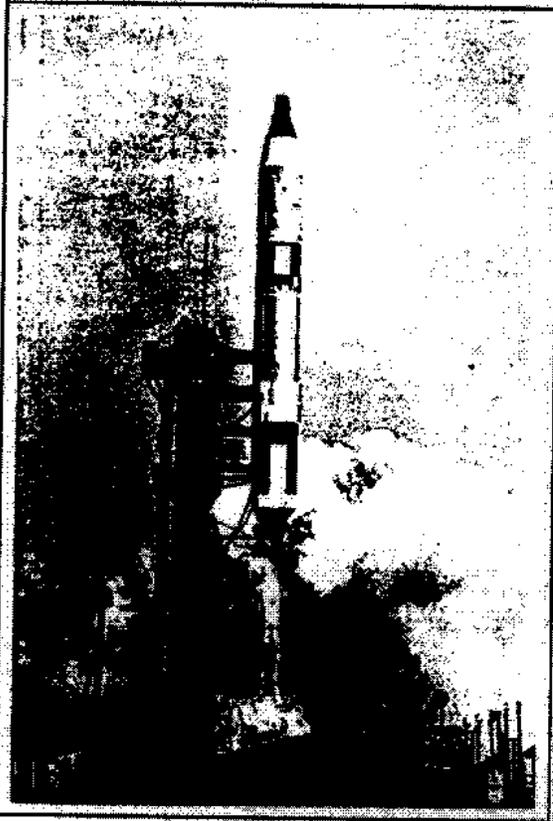
Foguetes para Levar Astronautas ao Espaço



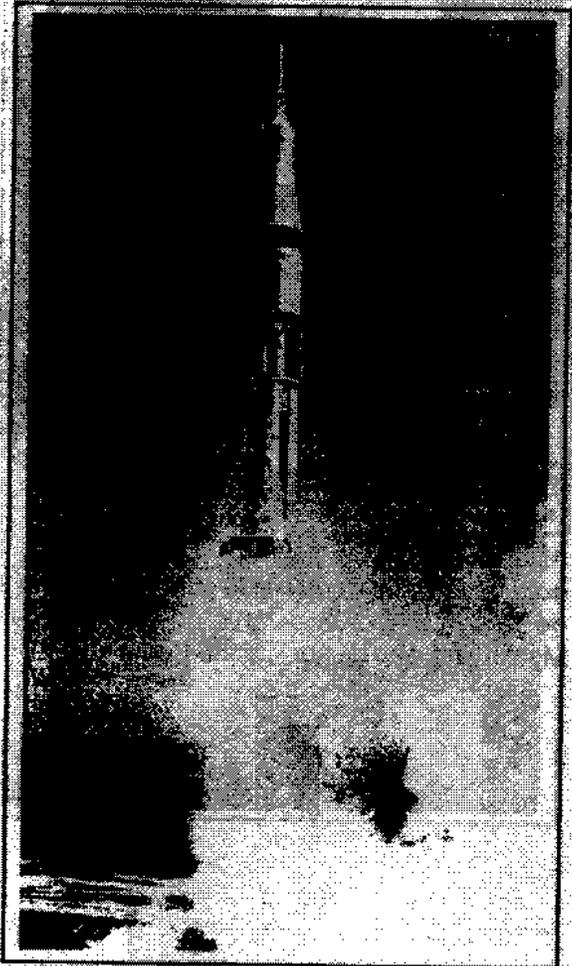
Allan Shepard tornou-se o primeiro astronauta norte-americano a ser levado ao espaço no dia 5 de Maio de 1961. Shepard viajou numa cápsula Mercury no topo de um foguete Redstone.



Um veículo de lançamento Atlas, com uma cápsula espacial Mercury no topo, passou por um teste estático para verificação dos sistemas de motores antes de seu lançamento. A combinação Mercury/Atlas lançou quatro missões orbitais Mercury, incluindo a do primeiro voo orbital de um astronauta norte-americano, John Glenn.

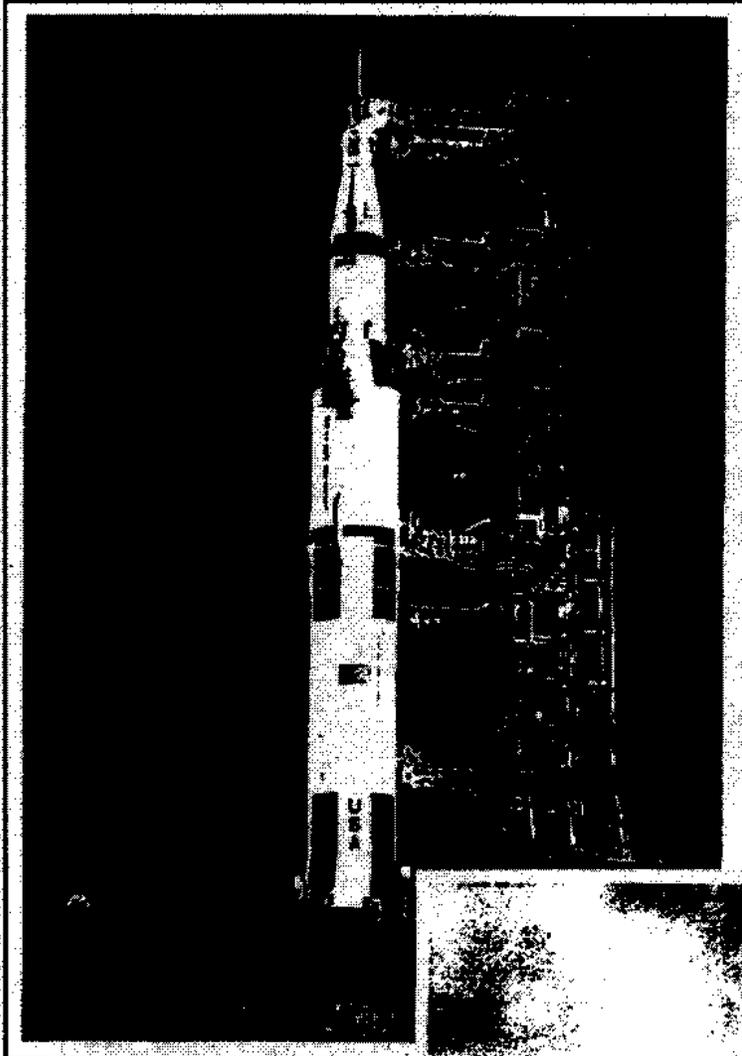


Virgil I. Grissom e John W. Young viajaram à órbita da Terra em uma nave *Gemini* montada na parte superior de um foguete Titan. A nave chegou a uma órbita que variou de 161 a 225 quilômetros no dia 23 de março de 1965.

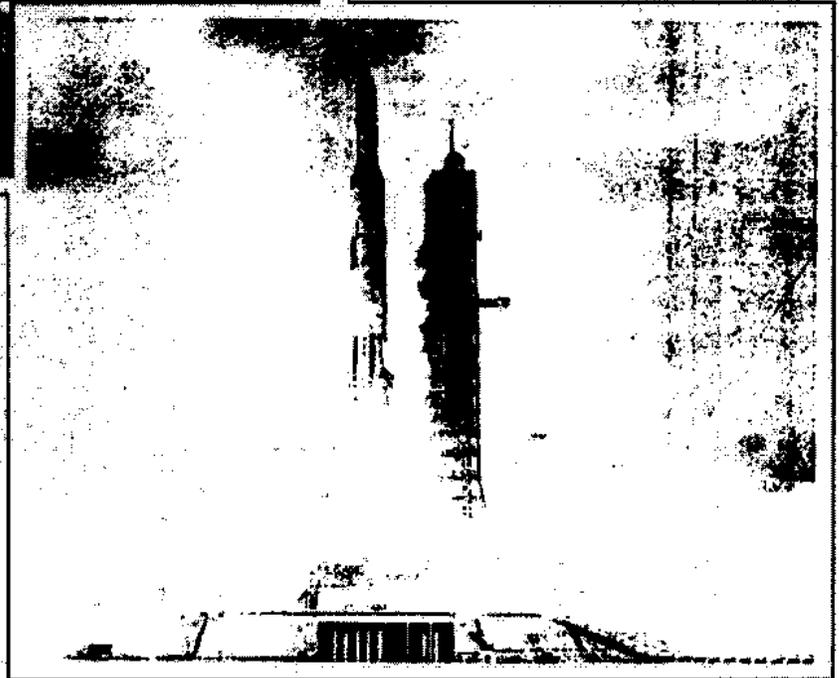


Usado para levar a nave *Apollo* à órbita da Terra, o Saturno 1B com quase 70 metros de altura, carrega a tripulação da *Apollo 7* no dia 11 de outubro de 1968. Os foguetes Saturno 1B também levaram as tripulações do *Skylab* (1973-74) e das missões *Apollo/Soyuz* (1975).





O foguete de 111 metros de altura, Saturno 5, carregou a tripulação da *Apollo 11* à Lua.



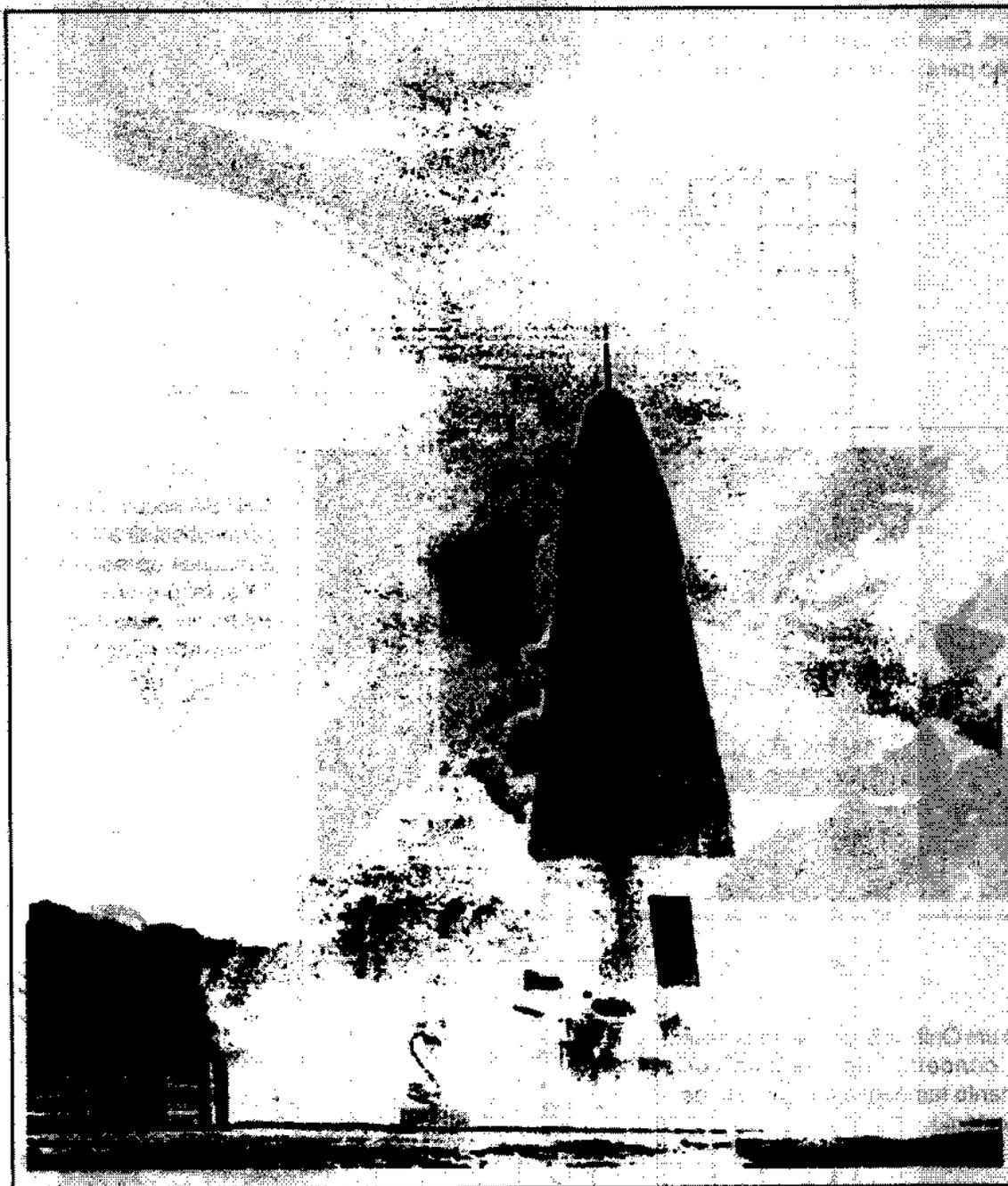
Usando um foguete Saturno 5 modificado, a NASA enviou a Estação Espacial Skylab (de 90.600 quilogramas) à órbita da Terra no dia 14 de março de 1973. A estação espacial substituiu o terceiro estágio do Saturno 5.



Atualmente, os astronautas da NASA são enviados ao espaço a bordo do Ônibus Espacial. O Ônibus consiste em uma nave que sobe ao espaço como um foguete, viaja na órbita da Terra, volta e aterrissa como um avião. Dois foguetes aceleradores sólidos recuperáveis oferecem o empuxo adicional, e um tanque descartável carrega os propulsores para os motores principais da nave. Este foi o lançamento do STS-53 no dia 2 de dezembro de 1992.

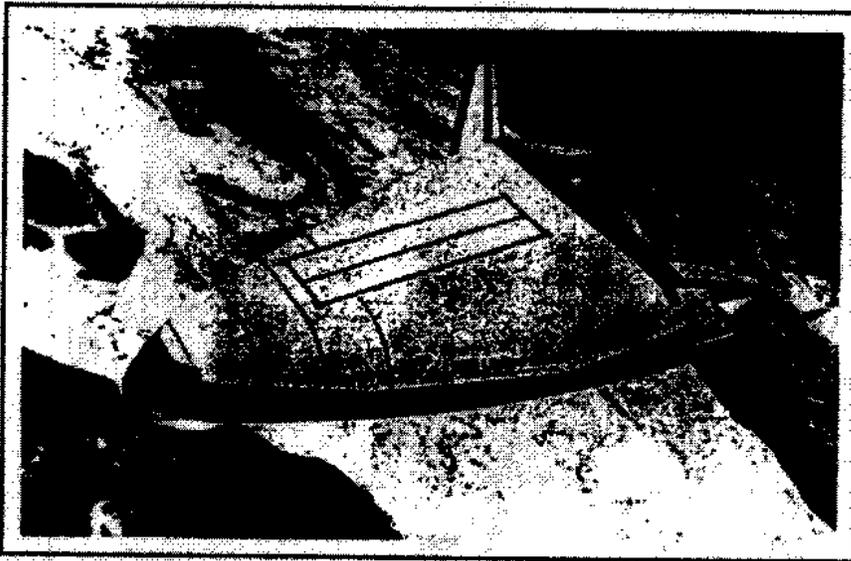
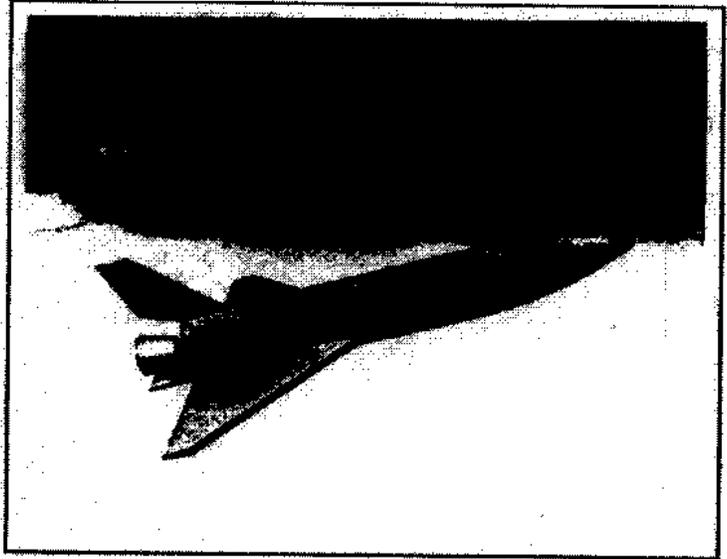
Conceitos para Veículos do Futuro

Os veículos lançadores nesta página e na próxima são idéias de veículos reutilizáveis para o futuro. A maioria é uma variação do Ônibus Espacial com asas.



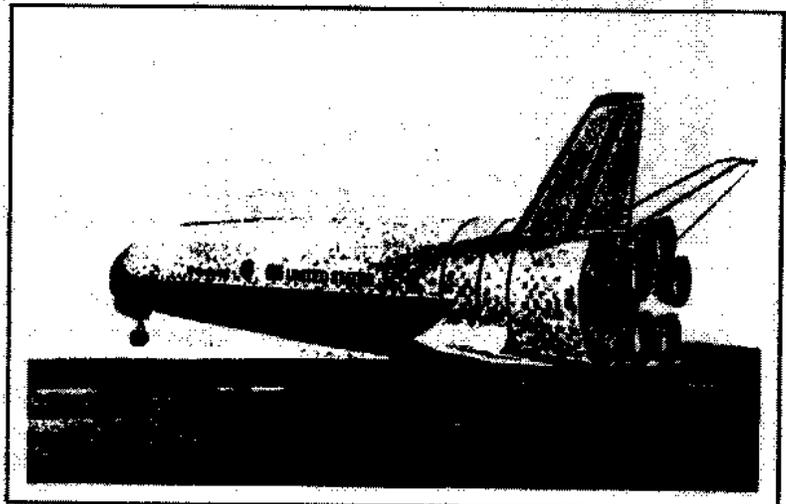
O Veículo Delta Clipper experimental (DC-X), originalmente desenvolvido pelo Departamento de Defesa, decola no White Sands Missile Range no Novo México. A NASA assumiu o papel de gerenciar o desenvolvimento adicional do veículo. O DC-X decola e aterrissa verticalmente. A NASA espera que esse veículo possa levar a um sistema de lançamento mais econômico. O Delta Clipper foi renomeado recentemente de "Clipper Graham" em homenagem ao falecido pioneiro dos vãos espaciais, Tenente General Daniel O. Graham.

O X-34 é um conceito de acelerador reutilizável que pode levar a veículos maiores no futuro. Esse foguete pode ser lançado de um avião para levar uma carga ao espaço.



A NASA escolheu este conceito para substituir a frota de Ônibus Espaciais no século XXI. O X-33 será um veículo de um só estágio no qual o veículo todo é levado ao espaço e volta à Terra intacto.

Parece um Ônibus Espacial, mas esse novo conceito de veículo de lançamento também é um foguete de um só estágio.



Matriz de Atividades

Padrões Curriculares e Habilidades

Padrões de Ciências

- Motor de Hero de Lata de Refrigerante
- Carro-Foguete de Corrida
- 3-2-1 Fogoi!
- Corrida de Comprimido Efervescentes (Antiácido)
- Foguetes de Papel
- O Carro de Newton
- Balão com Estágios
- Foguete como Meio de Transporte
- Rastreamento de Altitude
- Lançador de Foguete de Garrafa
- Foguete de Garrafa
- Projeto X-35

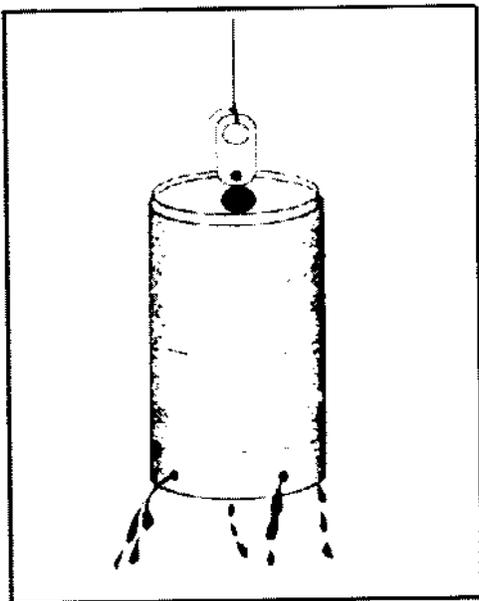
	Ciência como Questionamento	Ciências Físicas	Posição & Movimento de Objetos	Propriedades dos Objetos e Materiais	Unificação de Conceitos e Processos	Mudança, Constância & Medidas	Etadência, Modelos & Esquemas	Ciência e Tecnologia	Habilidades para Projeto Tecnológico	Conhecimento da Ciência e da Tecnologia	Ciência sob Perspectivas Pessoais & Sociais	Ciência e Tecnologia em Desafios Locais
Motor de Hero de Lata de Refrigerante	▲	▲	▲		▲	▲		▲		▲		
Carro-Foguete de Corrida	▲	▲	▲		▲	▲		▲	▲			
3-2-1 Fogoi!		▲	▲					▲	▲	▲		
Corrida de Comprimido Efervescentes (Antiácido)	▲	▲		▲				▲	▲			
Foguetes de Papel	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲			
O Carro de Newton	▲	▲		▲	▲	▲	▲					
Balão com Estágios		▲	▲					▲	▲	▲		
Foguete como Meio de Transporte	▲	▲	▲					▲	▲			
Rastreamento de Altitude		▲	▲					▲	▲	▲		
Lançador de Foguete de Garrafa		▲	▲					▲	▲			
Foguete de Garrafa		▲	▲					▲	▲			
Projeto X-35	▲	▲	▲					▲	▲		▲	▲

Habilidades de Processos Científicos

- Motor de Hero de Lata de Refrigerante
- Carro-Foguete de Corrida
- 3-2-1 Fogoi!
- Corrida de Comprimido Efervescentes (Antiácido)
- Foguetes de Papel
- O Carro de Newton
- Balão com Estágios
- Foguete como Meio de Transporte
- Rastreamento de Altitude
- Lançador de Foguete de Garrafa
- Foguete de Garrafa
- Projeto X-35

	Observação	Comunicação	Medição	Coleta de Dados	Inferência	Previsão	Construção de Modelos	Concepção da Realidade	Trabalho com Hipóteses	Interpretação de Dados	Controle de Variáveis	Conhecimento da Definição Operacional	Investigação
Motor de Hero de Lata de Refrigerante	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Carro-Foguete de Corrida	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
3-2-1 Fogoi!	▲	▲		▲		▲							
Corrida de Comprimido Efervescentes (Antiácido)	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲
Foguetes de Papel	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲
O Carro de Newton	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲
Balão com Estágios	▲						▲					▲	
Foguete como Meio de Transporte	▲	▲	▲	▲	▲	▲				▲	▲	▲	▲
Rastreamento de Altitude	▲		▲	▲						▲			
Lançador de Foguete de Garrafa			▲										
Foguete de Garrafa			▲			▲							
Projeto X-35	▲	▲	▲	▲	▲	▲				▲	▲	▲	▲





Informações para o Professor

Motor de Hero de Lata de Refrigerante

Objetivos:

- Demonstrar a Terceira Lei do Movimento de Newton usando a força da queda d'água para fazer uma lata de refrigerante girar.
- Experimentar diferentes maneiras de aumentar a velocidade de giro da lata.

Descrição:

Uma lata de refrigerante suspensa por um barbante roda com a força criada pelos fios de água que saem de orifícios perto do fundo da lata.

Padrões de Ciências:

Ciência como Questionamento
 Ciências Físicas - Posição e movimento dos objetos
 Unificação de Conceitos e Processos - Mudança, constância e medidas
 Ciência e Tecnologia - Conhecimento da Ciência e da Tecnologia

Habilidades do Processo Científico:

Observação
 Comunicação
 Medida
 Coleta de Dados
 Inferência
 Previsão
 Construção de Modelos
 Interpretação de Dados
 Confecção de Gráficos
 Trabalho com Hipóteses
 Controle de Variáveis
 Capacidade de Definição Operacional
 Investigação

Padrões de Matemática:

Computação e Estimativa
 Computação de Números Inteiros
 Medida
 Estatística
 Probabilidade

Gerenciamento:

Esta atividade funciona melhor em pequenos grupos de dois ou três alunos. Reserve aproxima-

Parte Um

MATERIAIS E FERRAMENTAS

- Lata de refrigerante vazia com o lacre (uma para cada grupo de alunos);
- Pregos comuns - um para cada grupo de alunos;
- Linha de pesca de nylon (fina);
- Balde ou bacia de água - várias para a classe toda;
- Toalhas de papel para limpeza;
- Metro de madeira;
- Tesoura para cortar o fio de nylon.

madamente 40 a 45 minutos para que os alunos completem a atividade. A atividade está dividida em duas partes. Na primeira parte, um dos alunos constrói o motor e o testa. A segunda parte enfoca as variáveis que afetam a ação do motor. O experimento enfatiza a previsão, a coleta de dados, a análise dos resultados. Lembre-se de reciclar as latas de refrigerante após a atividade.

Informação de Referência:

Hero de Alexandria inventou o molinete de Hero no século I A.C. Seu motor operava devido à força propulsora gerada pelo escape de vapor. Uma caldeira produzia o vapor que saía para fora através de tubos em forma de L torcidos no formato de um cata-vento. O escape do vapor produzia uma força de ação-reação que fazia a esfera girar na direção oposta. O molinete de Hero é uma demonstração excelente da Terceira Lei do Movimento de Newton. (Veja página



11 para maiores informações sobre o motor de Hero e páginas 22-23 para obter maiores detalhes sobre a Terceira Lei do Movimento de Newton). Esta atividade substitui a ação produzida pela força do vapor do motor de Hero pela queda d'água.

Parte Um:

Fabricação do Motor de Hero com Lata de Refrigerante:

1. Distribua as folhas dos alunos, uma lata de refrigerante e um prego médio comum para cada grupo de alunos. Diga aos alunos que você demonstrará o procedimento para fazer o motor de Hero.
2. Coloque a lata deitada e use o prego para perfurar um único furo na lateral perto do fundo da lata. Antes de remover o prego, pressione o prego para um dos lados para que o furo fique desviado para esse lado.
3. Remova o prego e rode a lata aproximadamente 90 graus. Faça um segundo furo como o primeiro. Repita esse procedimento mais duas vezes para que sejam feitos quatro furos uniformemente espaçados ao redor da lata.
4. Dobre o lacre da lata para cima e prenda na argola um pedaço de 40-50 cm de fio de nylon de pesca. Está pronto o motor de Hero de lata de refrigerante.

Para ligar o motor:

1. Mergulhe a lata em uma bacia de água até que esteja completamente cheia de água. Peça a um aluno para prever o que vai acontecer quando você levantar a lata pelo fio de nylon.
2. Peça a cada grupo que teste seu motor de Hero.

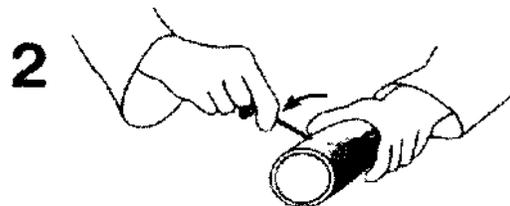
Discussão:

1. Por que as latas começaram a girar quando a água saiu pelos furos?
2. Qual foi a ação? Qual foi a reação?
3. Todas as latas giraram da mesma forma? Sim ou não, por quê?

Como amassar os furos



Com o prego ainda no furo, aperte a parte de cima do prego contra a parede da lata para amassar o furo



Parte Dois:

Experimento com os Motores de Hero de Lata de Refrigerante:

1. Diga aos alunos que eles irão fazer um experimento para descobrir se há alguma relação entre o tamanho dos furos e a quantidade de vezes em que ele roda. Peça aos alunos para fazerem previsões sobre o que eles acham que pode acontecer com a rotação do motor de Hero se eles fizerem furos maiores ou menores nas latas. Discuta as hipóteses possíveis para o experimento.

Parte Dois

MATERIAIS E FERRAMENTAS

- Folhas dos alunos;
- Motores de Hero da parte um;
- Lata de refrigerante vazia com o lacre (três para cada grupo);
- Pregos comuns - dois diâmetros diferentes (um de cada por grupo);
- Fio de nylon;
- Balde ou bacia de água (várias para a classe);
- Toalhas de papel para limpeza;
- Metro de madeira;
- Etiquetas adesivas coloridas ou marcadores permanentes;
- Tesoura para cortar o fio de nylon.

2. Forneça a cada grupo o material contido na lista da Parte Dois. Os pregos devem ter diâ-

metros diferentes dos que foram usados no primeiro motor. Identifique esses pregos como pequenos (P) e grandes (G). Os alunos mais velhos podem medir os diâmetros dos orifícios em milímetros. Como vai haver variações individuais, registre o tamanho médio do diâmetro do furo. Peça que os grupos façam dois motores adicionais exatamente iguais ao primeiro, apenas com furos de tamanhos diferentes.

3. Discuta como contar os giros do motor. Para ajudar a contagem do número de rotações, prenda uma etiqueta colorida ou outro marcador na lata. Diga a eles para contar as rotações várias vezes para terem consistência em suas medições antes de fazerem o experimento de verdade.
4. Peça aos alunos para escreverem suas respostas para cada um dos três testes que eles irão realizar nos diagramas das latas da Folha do Aluno. (O teste Um usa a lata criada na Parte Um). Os alunos não devem prever os resultados para a segunda e a terceira lata até que tenham terminado os testes anteriores.
5. Discuta os resultados do experimento de cada grupo. Os resultados confirmam a hipótese do experimento?
6. Peça aos alunos para proporem outras maneiras de mudar a rotação da lata (Fazendo furos a alturas diferentes do fundo da lata, fazendo furos tortos em outras direções ou furos retos etc.). Tenha certeza de que eles irão comparar os quatro motores de Hero que fizeram com o motor feito anteriormente com furos iguais.

Discussão:

1. Compare o modo como os foguetes mudam de direção no espaço com o modo como o motor de Hero funciona.
2. Como fazer um motor de Hero girar na direção oposta?
3. Você pode pensar em alguma maneira de dar uma utilidade ao motor de Hero?

4. Qual a semelhança entre os motores de Hero e os foguetes? Quais as diferenças?

Avaliação:

Conduza uma discussão em sala de aula para que os alunos compartilhem seus conhecimentos sobre as Leis do Movimento de Newton. Recolha e revise as folhas dos alunos completadas por eles.

Aprofundamento:

- Compare um molhador de grama rotativo com o motor de Hero.
- Faça uma pesquisa sobre Hero e seu motor. O motor foi usado para alguma coisa?
- Construa um motor de Hero movido a vapor. Veja as instruções abaixo.

Motor de Hero a Vapor

Um motor de Hero de cobre a vapor pode ser fabricado a partir de uma bóia de vaso sanitário de cobre e outros tubos de cobre. Como essa versão do motor de Hero envolve vapor, é melhor usá-la apenas como demonstração.

Modelo do Professor

MATERIAIS E FERRAMENTAS

- Bóia de cobre de vaso sanitário (disponível em lojas de material hidráulico ou de material de construção);
- Parafuso manual de 1/4 de polegada;
- Tubo de latão de diâmetro interno de 3/16, com 12 polegadas de comprimento (de lojas de material para hobbies);
- Ferro de solda;
- Linha de nylon de pesca;
- Palito de sorvete ou broca;
- Lixa para metais;
- Maçarico de propano.

1. Lixe a parte do meio do tubo de latão para fazer um orifício. Não lixe o tubo no meio.



Lixe o furo no meio do tubo (etapa 1)



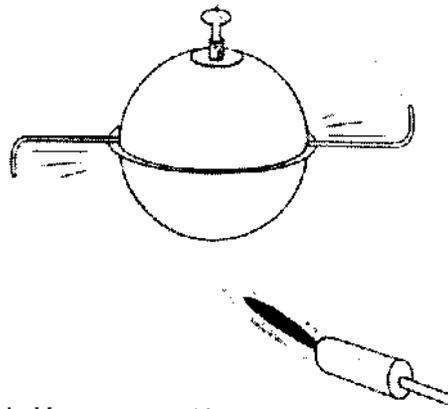
2. Usando o palito de sorvete ou broca, faça dois pequenos furos nas laterais da bóia no meio. Os furos devem ter diâmetro apenas suficiente para que o tubo passe na perpendicular através da parede da bóia.
3. Com o tubo posicionado de modo que as extremidades que estejam para fora da bóia sejam do mesmo tamanho, aqueça os pontos de contato com o maçarico. Encoste o ferro de solda na área aquecida para que derreta e sele as junções.
4. Faça um furo para o acesso da água por dentro do conector rosqueado, na parte de cima da bóia.
5. Usando o maçarico novamente, aqueça os tubos a cerca de 3 centímetros das pontas. Com alicates, dobre cuidadosamente as pontas dos tubos em direções opostas. Dobre os tubos lentamente para não ficar com dobras.
6. Faça um furo através da parte plana do parafuso manual para prender o fio de nylon e um anel rotativo. Gire o parafuso manual no conector rosqueado da bóia e prenda a linha e o anel rotativo.

Procedimento:

Como usar o Motor de Hero a Vapor

1. Coloque uma pequena quantidade de água (cerca de 10 a 20 ml) dentro da bóia. A quantidade não é importante. A bóia pode ser enchida até o topo, se você fez um furo de acesso, ou através dos tubos mergulhando a bóia em um recipiente com água e deixando um tubo dentro e outro fora da água.
2. Pendure o motor e aqueça a parte de baixo dele com o maçarico. Em um ou dois minutos ele estará girando. Cuidado para não operar o motor por muito tempo, pois pode não estar bem equilibrado e golpear violentamente. Se ele começar a golpear, remova a fonte de calor.

Cuidado: Use óculos de proteção quando estiver demonstrando o motor. Confirme se os tubos não estão obstruídos antes de aquecer. Teste-os soprando ar como em um canudinho. Se o ar sair pelo outro lado, o motor está seguro para uso.



Motor de Hero a vapor já completo.

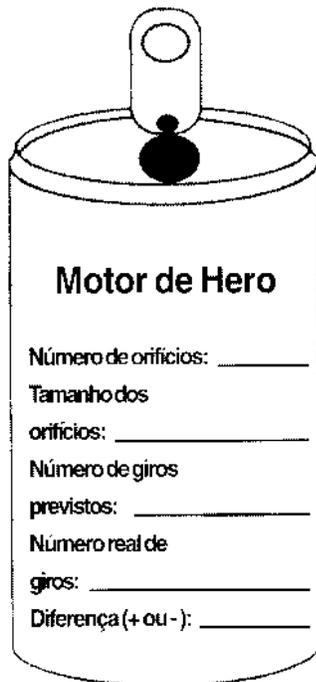
Motor de Hero de Lata de Refrigerante

Nomes dos Membros da Equipe:

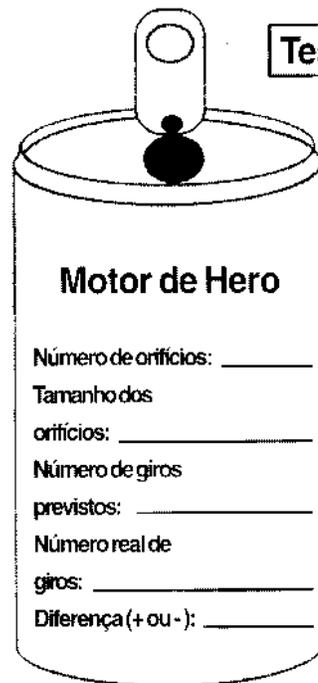
Projete um experimento que irá testar o efeito do tamanho dos orifícios no número de rotações que a lata produz. Qual é a hipótese de seu experimento?

Marque cada lata para ajudar a contar os giros.

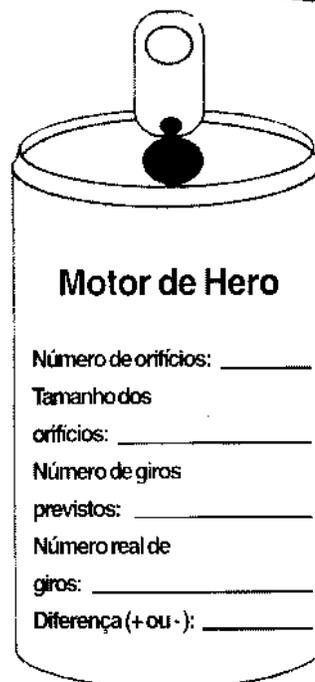
Teste cada motor de Hero e registre os dados nas latas abaixo.



Teste Número 1



Teste Número 2



Teste Número 3

Tendo por base seus resultados, sua hipótese estava correta?

Por quê?



Faça um novo experimento com motor de Hero. Lembre-se, mude somente uma variável em seu experimento.

Qual é a hipótese de seu experimento?

Compare esse motor com o motor de seu primeiro experimento que tem os mesmos tamanhos de orifício.

Baseado nos resultados, sua hipótese estava correta?

Por quê?

Descreva o que você aprendeu com as Leis do Movimento de Newton construindo e testando seus próprios motores de Hero.

Partilhe suas conclusões com o restante da classe.

