

CAPÍTULO 8

MICROGRAVIDADE, FOGUETES DE SONDAGEM E A PLATAFORMA SUBORBITAL

Paulo Giácomo Milani*

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

* e-mail: milani@dem.inpe.br

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	8 - 5
1 O QUE É MICROGRAVIDADE?	8 - 7
2 COMO OBTER A MICROGRAVIDADE?	8 - 8
2.1 UM CORPO EM QUEDA LIVRE	8 - 8
2.2 SATÉLITES	8 - 10
2.3 TORRES DE QUEDA LIVRE	8 - 10
2.4 AVIÃO EM TRAJETÓRIAS PARABÓLICAS	8 - 11
2.5 FOGUETES DE SONDAGEM	8 - 13
2.6 O SPACE SHUTTLE	8 - 15
2.7 SATÉLITES RECUPERÁVEIS	8 - 15
2.8 ESTAÇÃO ESPACIAL	8 - 16
2.9 BALÕES	8 - 17
3 AS APLICAÇÕES DA MICROGRAVIDADE	8 - 18
3.1 APRESENTAÇÃO	8 - 18
3.2 TRANSIÇÃO LÍQUIDO/VAPOR	8 - 20
3.3 ELETROFORESE	8 - 21
3.4 FÍSICA DOS FLUÍDOS	8 - 21
3.5 CIÊNCIA DOS MATERIAIS	8 - 21

3.6	CRESCIMENTO DE CRISTAIS DE PROTEÍNAS	8 - 22
3.7	CRESCIMENTO DE TECIDOS	8 - 22
3.8	FUSÃO DE CÉLULAS	8 - 22
4	A PLATAFORMA SUBORBITAL - PSO	8 - 22
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8 - 28

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTADO DE CORPOS EM UM ELEVADOR EM DOIS CASOS DIFERENTES	8 - 9
FIGURA 2 - O EXPERIMENTO IMAGINADO POR NEWTON	8 - 10
FIGURA 3 - UMA TORRE DE QUEDA LIVRE E O CARRO DE EXPERIMENTOS	8 - 11
FIGURA 4 - A BALA DE UM CANHÃO E A SUA TRAJETÓRIA	8 - 12
FIGURA 5 - PESSOAL EM TREINAMENTO EM MICROGRAVIDADE ...	8 - 12
FIGURA 6 - UMA TRAJETÓRIA PARABÓLICA TÍPICA	8 - 13
FIGURA 7 - A MISSÃO DA PSO	8 - 13
FIGURA 8 - CONTEÚDO DE UMA PLATAFORMA DE MICROGRAVIDADE JAPONESA	8 - 14
FIGURA 9 - O SPACE SHUTTLE DA NASA	8 - 15
FIGURA 10 - A ESTAÇÃO ESPACIAL RUSSA EM ÓRBITA DA TERRA .	8 - 16
FIGURA 11 - A ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL	8 - 17
FIGURA 12 - FOGUETE É SOLTO DO BALÃO PARA OBTER MICROGRAVIDADE	8 - 18
FIGURA 13 - COMPARAÇÃO DA EBULIÇÃO, COM E SEM MICROGRAVIDADE	8 - 19
FIGURA 14 - COMPARAÇÃO DO ESTADO DE UMA CHAMA	8 - 20
FIGURA 15 - UM DIAGRAMA EM CORTE DA PSO	8 - 23

FIGURA 16 - AS BAIAS DE INSTRUMENTAÇÃO DA PSO, COM A PARTE EXTERNA RETIRADA	8 - 25
FIGURA 17 - PROJETO PSO: DETALHES DE MONTAGEM DO CONJUNTO	8 - 26
FIGURA 18 - PROJETO PSO: OUTROS DETALHES DE MONTAGEM DO CONJUNTO	8 - 27

1 O QUE É A MICROGRAVIDADE?

Vamos partir da gravidade para, em seguida, apresentar a microgravidade. A gravidade é uma aceleração (força) que atua sobre todos os corpos, objetos, pessoas, animais, carros, etc., que estão no (ou sob a influência do) planeta Terra.

Essa aceleração se manifesta na forma de uma força de atração para a Terra: os objetos “caem” quando os largamos. Esses objetos são atraídos pela Terra devido ao campo gravitacional que ela tem, ou melhor, devido à sua gravidade.

A gravidade é tão maior quanto maior for a massa (peso) do planeta. Na Lua, a gravidade é bem menor do que na Terra pois a massa da Lua é muitas vezes menor que a da Terra. Já a massa de Júpiter é muito maior que a da Terra (318 vezes maior). Em Júpiter a gravidade é da ordem de 2,3 vezes maior que a da Terra.

A atração da gravidade terrestre se estende muito longe no espaço. Para se ter uma atração da ordem de um milionésimo da que se tem sobre a superfície da Terra (microgravidade) seria necessário se afastar a quase 17 vezes a distância da Terra à Lua. Por outro lado, quando um objeto qualquer está em queda livre, o seu peso aparente é praticamente zero. Uma nave espacial está na verdade caindo continuamente em torno da Terra, mas devido à sua velocidade e altitude, fazem com que a sua queda coincida com a curvatura do nosso planeta, permitindo que ela fique em órbita. Todos os objetos colocados a bordo da nave espacial também estão num estado de queda livre.

Microgravidade ocorre quando quase não se tem o efeito da gravidade atuando sobre um corpo, um objeto, um experimento, um satélite ou uma estação espacial. A atração da gravidade pode ser tão pequena em algumas situações que a chamamos de microgravidade.

Microgravidade é uma condição física, ideal sob vários aspectos, na qual se pode realizar muitos experimentos em diversas áreas do conhecimento:

Medicina,
Novos materiais
Combustão,
Mecânica dos fluidos,
Crescimento de cristais,
Biologia,
e muitos outros.

Microgravidade é um estado equivalente ao que pode ser experimentado por um corpo em queda livre no vácuo.

2 COMO OBTER A MICROGRAVIDADE?

A gravidade já é uma presença tão constante em nossas vidas que dificilmente nos questionamos sobre ela. Apesar de ter uma presença universal, acontece de ser muito interessante desenvolver experimentos em ambientes onde ela (quase) não esteja presente. Para tanto é necessário usar artifícios de forma a cancelar ou compensar o seu efeito durante certos intervalos de tempo, uma vez que se desconhece até o momento qualquer forma de anular a sua ação.

2.1 UM CORPO EM QUEDA LIVRE

A queda livre é a forma mais imediata de se obter o efeito de microgravidade e um elevador caindo é um excelente exemplo desse caso. No interior do elevador, quando ele começa a subir, sentimos uma força nas nossas pernas como se tivesse acontecido

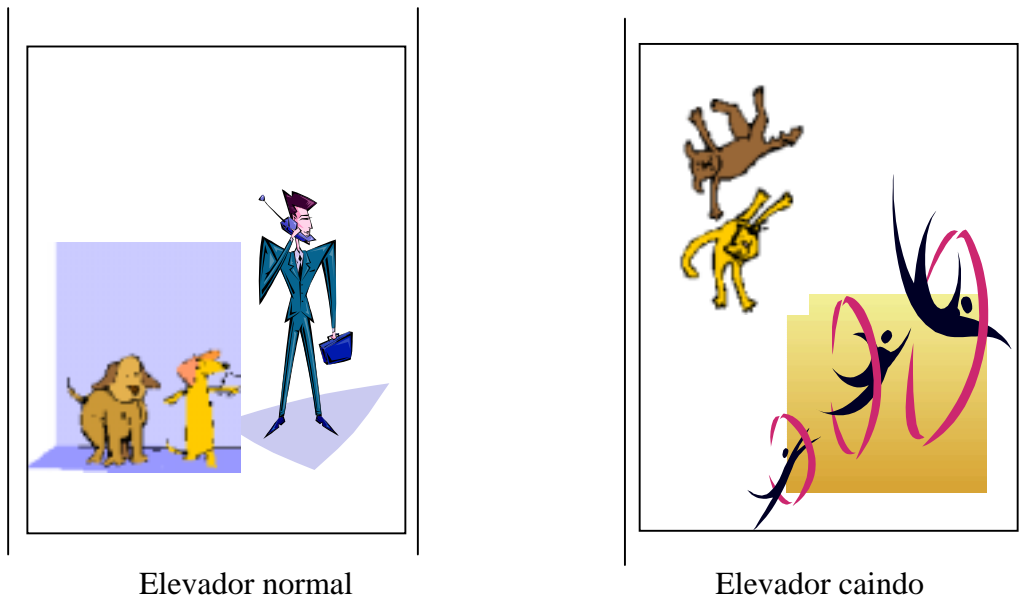


Fig. 1 - Estado de corpos em um elevador em dois casos diferentes.

FONTE:

um “aumento do nosso peso”. Já quando ele começa a descer, sentimos um efeito contrário, agora de “diminuição do nosso peso”, que é tanto maior quanto mais depressa o elevador desce (Figura 1).

Vamos imaginar, agora, que o elevador esteja solto, caindo (o cabo que o suspende quebrou). Essa é apenas uma suposição que esperamos que não aconteça na realidade. Nesse caso, durante a sua queda, dentro dele ocorrerá um efeito de “diminuição de peso” tão grande que o nosso peso e o de qualquer objeto ali dentro será praticamente igual a zero. Assim, tudo o que estiver lá dentro ficará flutuando como se estivesse solto no espaço. Essa condição é o que podemos chamar de microgravidade. Essa condição continua até que o elevador seja desacelerado ou que se choque violentamente contra o solo.

Existem várias formas diferentes de conseguir esse mesmo efeito: satélites, estação espacial, aviões em trajetórias parabólicas, torres de queda livre, queda livre a partir de balões e, finalmente, foguetes de sondagem.

2.2 SATÉLITES

Em um experimento idealizado por Isaac Newton (Figura 2), um canhão colocado em uma montanha muito elevada que dispare bolas com velocidades cada vez mais elevadas. Chegaria um momento em que a bola não mais cairia sobre a Terra e ficaria em órbita definitivamente. Pode-se considerar nesse caso que a bola do canhão esteja caindo indefinidamente, mas como ela tem uma velocidade de disparo muito grande, para cada metro que ela caia, ela já andou uma tamanha distância em torno da Terra que as condições iniciais passam a se repetir, e isso ocorre indefinidamente. Se não houver atrito com a atmosfera (o ar da Terra), a bola nunca cai.

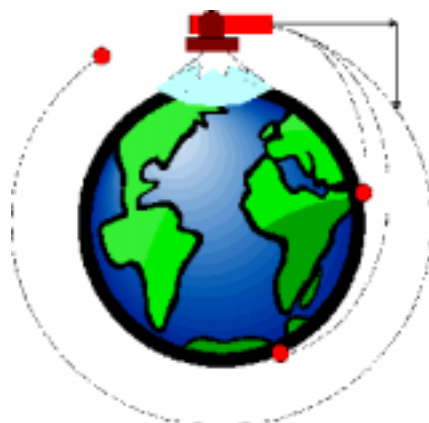


Fig. 2 - O experimento imaginado por Newton.

FONTE:

2.3 TORRES DE QUEDA LIVRE

Funcionam da mesma forma que no caso do elevador que acabamos de estudar. Enquanto os experimentos estão caindo, eles estão em microgravidade. No fim da torre (ou do poço) existem mecanismos de amortecimento e de desaceleração que brecam os “elevadores” para que os experimentos não sejam danificados. Todo o experimento é,

geralmente, filmado e coleta-se todo tipo de informação importante por meio de sensores. Um exemplo de uma torre japonesa para esse tipo de experimento pode ser vista na Figura 3.

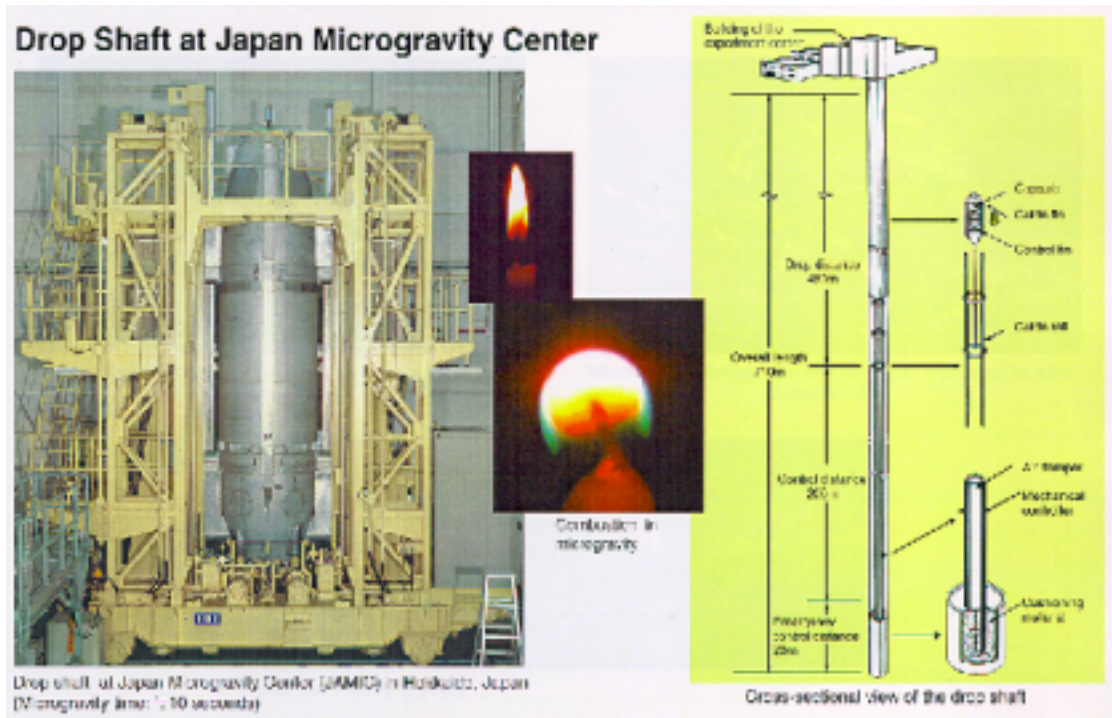


Fig. 3 - Uma torre de queda livre e o carro de experimentos.

FONTE: Ishikawajima Heavy Industries.

2.4 AVIÃO EM TRAJETÓRIAS PARABÓLICAS

Uma bola de canhão, uma pedra ou uma bola de basquete quando arremessada, descreve uma trajetória parabólica no ar (Figura 4).

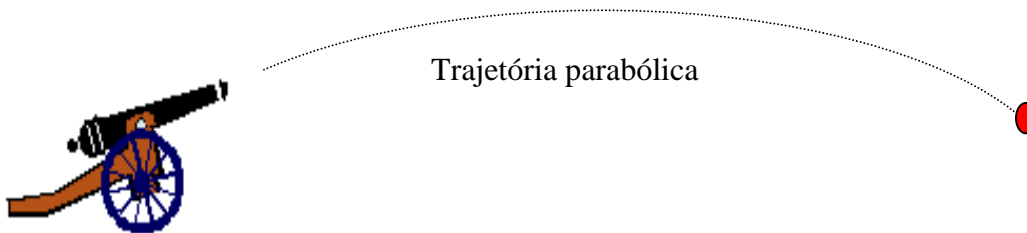


Fig. 4 - A bala de um canhão e a sua trajetória.

FONTE:

Alguns aviões são colocados para voar em arcos parabólicos de forma a simular uma queda livre por algumas dezenas de segundos.



Fig. 5 - Pessoal em treinamento em microgravidade.

FONTE: Texas A&M University, 03/05/2000.

O avião inicialmente sobe em um ângulo de aproximadamente 45° com a horizontal e termina mergulhando de frente. A foto mostra o que acontece dentro de um avião desses durante um período de até 25 segundos. Todos a bordo ficam flutuando como se

estivessem no espaço. Essa manobra pode ser repetida quantas vezes for desejada ou necessária.

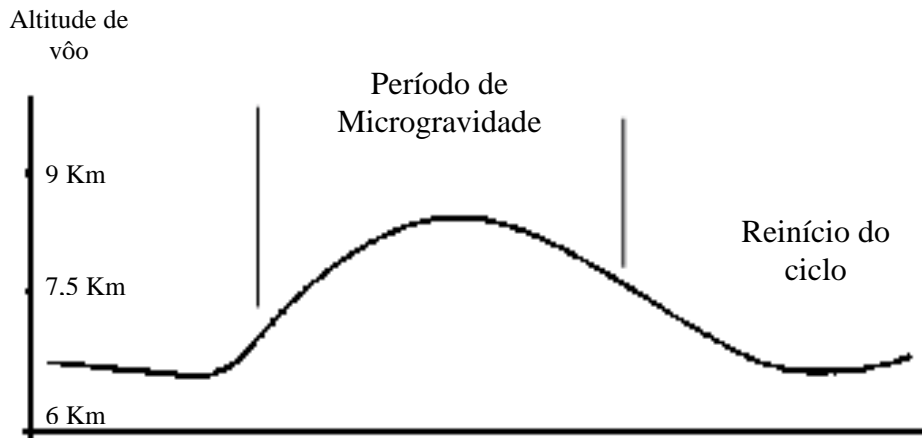


Fig. 6 - Uma trajetória parabólica típica.

FONTE:

2.5 FOGUETES DE SONDAGEM



Fig. 7 - A Missão da PSO.

FONTE: Milani, 1998.

Produzem microgravidade de qualidade muito melhor e por um tempo muito maior do que a obtida em aviões ou em torres de queda livre. O experimento é colocado num foguete de sondagem e, após a sua queima, ele cai de volta para a Terra. A trajetória percorrida pelo foguete também é parabólica, mas a sua maior diferença para os dois casos anteriores é que o foguete vai muito acima da atmosfera terrestre, permitindo obter uma qualidade de microgravidade, também, melhor que as anteriores.

A Plataforma SubOrbital, um projeto do INPE, é exatamente um veículo deste tipo, usando os foguetes de sondagem Sonda III. Ela deve atingir uma altitude de 480Km. Posteriormente vamos apresentar mais detalhes sobre a PSO.

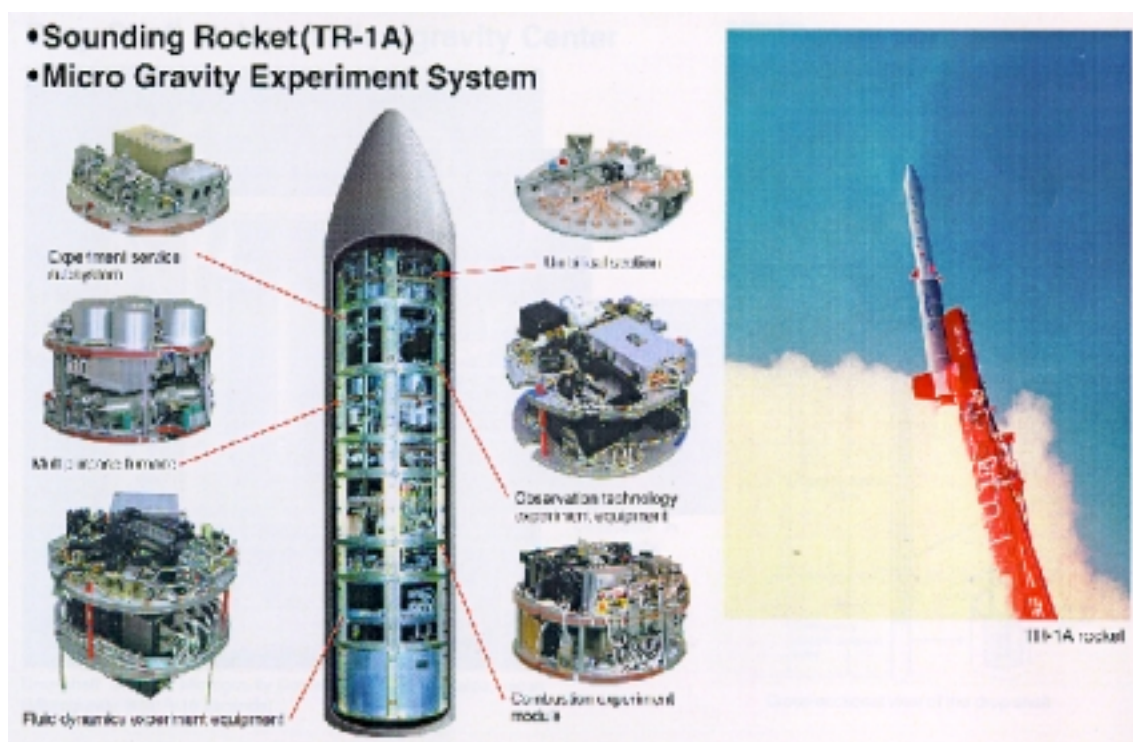


Fig. 8 - Conteúdo de uma plataforma de microgravidade japonesa.

FONTE: Ishikawajima Heavy Industries.

2.6 O SPACE SHUTTLE

É um veículo espacial já bastante conhecido de todos nós. Ele carrega para o espaço diversos equipamentos de laboratório para realizar pesquisas científicas a bordo, em órbita. O Shuttle pode ficar em órbita até 17 dias, o que é o ideal para experimentos que requeiram até esse período (que é relativamente longo) de microgravidade para serem realizados.



Fig. 9 - O Space Shuttle da NASA.

FONTE: Corbis Pictures.

2.7 SATÉLITES RECUPERÁVEIS

São utilizados da mesma forma que o space shuttle, só que são muito menores e funcionam sem a presença do homem a bordo.

2.8 ESTAÇÃO ESPACIAL

É um outro tipo de veículo espacial, só que este é mais adequado para permanecer em órbita por décadas. Existem duas estações espaciais em órbita, atualmente. A primeira é a Estação Mir, de propriedade dos russos, e que já está no espaço há mais de 14 anos.



Fig. 10 - A Estação Espacial Russa em órbita da Terra.

FONTE: Mir Space Web Site, 03/05/2000.

A outra, muito mais recente, ainda está em montagem em órbita e é a Estação Espacial Internacional. Esta última está sendo desenvolvida por um conjunto de nações, incluindo o Brasil. Outra estação espacial já foi colocada em órbita da Terra. Foi o Skylab, que permaneceu no espaço por quase 6 meses e depois reentrou na atmosfera.



Fig. 11 - A Estação Espacial Internacional.

FONTE: Boeing, 03/05/2000.

Usando uma estação espacial um cientista pode conduzir um experimento por períodos de muitos meses, pode deixá-lo na estação espacial permanentemente e retornar para coletar resultados periodicamente

2.9 BALÕES

Podem ser usados da mesma forma que as Torres de Queda Livre, sendo que a altura, neste segundo caso, pode ser muito maior, como é fácil de entender. Existem balões que atingem altitudes de mais de 30 km, permitindo tempos de queda livre da ordem de um minuto.

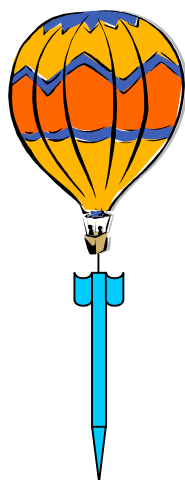


Fig. 12 - Foguete é solto do balão para obter microgravidade

FONTE: Milani, 2000.

Nesses casos, usa-se um foguete especial pendurado de cabeça para baixo, onde vão os experimentos. O foguete é acionado para compensar o atrito com o ar. Usa-se ar comprimido como sistema de propulsão, que é mais fácil de ser controlado do que os combustíveis normais para foguetes. Ao fim da queda, aciona-se um pára-quedas para frear o foguete e permitir uma aterrissagem suave.

3 AS APLICAÇÕES DA MICROGRAVIDADE

3.1 APRESENTAÇÃO

Elas são muitas, e procuraremos ver algumas delas aqui. Apresentaremos alguns filmes (alguns segundos) sobre o comportamento de um líquido em ambiente de microgravidade e em gravidade normal. Poderemos ver, também, o comportamento de uma chama sob as mesmas condições. Apresentaremos alguns outros filmes curtos a título de ilustração deste assunto. Estas aplicações foram obtidas de um sítio da NASA na internet.

A figura a seguir apresenta uma comparação do comportamento de um líquido fervendo. A da esquerda apresenta o líquido nas condições em que conhecemos, quando

sujeita à gravidade de 1g (uma gravidade). Pode-se ver os resultados tanto por uma vista lateral (em cima, à esquerda), como por uma vista de baixo (à esquerda, em baixo). Já nas duas figuras da direita se apresentam as mesmas vistas, só que para o experimento sendo feito a bordo do Space Shuttle. O comportamento das bolhas de gás no líquido aquecido é totalmente diferente daquele que ocorre com o líquido na Terra. É possível ver que a bolha de gás não sobe e que, após se desligar o aquecimento, as bolhas tendem todas a se agrupar em uma só.

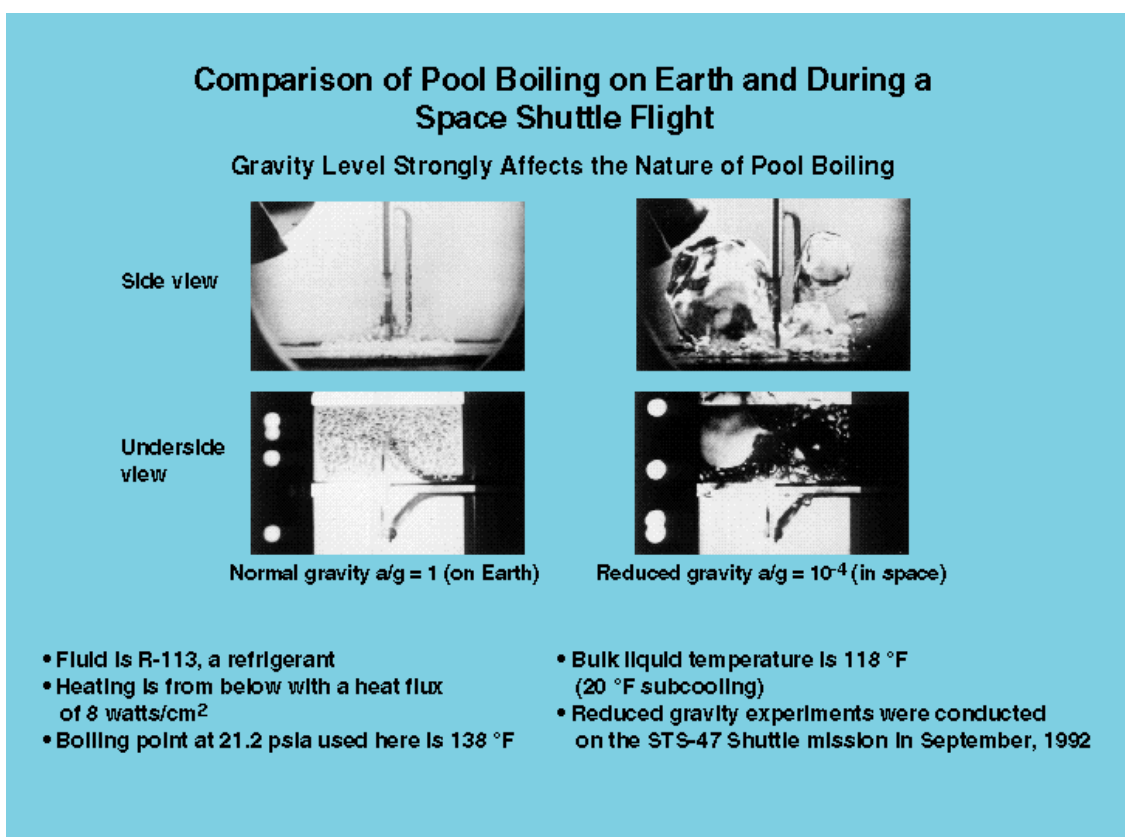


Fig. 13 - Comparação da ebulição, com e sem microgravidade.

FONTE: NASA, 03/05/2000.

Um outro experimento realizado, agora sob diversos níveis de microgravidade, com uma chama de uma vela. A figura apresenta, no primeiro quadro à esquerda uma chama nas condições normais que temos aqui na Terra, sob o efeito da gravidade terrestre (1g). Já na fotografia (b) temos a chama no ambiente de um laboratório (torre de

microgravidade), com a mesma em torno do valor de $0,00001g$, ou seja, um centésimo milésimo da gravidade na superfície da Terra. Já na figura (c) temos a mesma chama, agora num teste a bordo de um avião em vôo parabólico, com tempos de 20 a 25 segundos, mas com microgravidade da ordem de $0,01$ a $0,02g$. A última imagem (d) mostra uma chama no ambiente do Space Shuttle, com as mesmas condições de gravidade obtidas no caso (b), só que agora mantida por vários dias seguidos.

Os filmes que serão mostrados durante a aula apresentarão experimentos muito semelhantes aos dois apresentados nas figuras anteriores.

Muitos outros tipos de experimentos podem ser realizados nesse tipo de ambiente.

Pode-se apresentar, superficialmente, alguns deles a seguir:

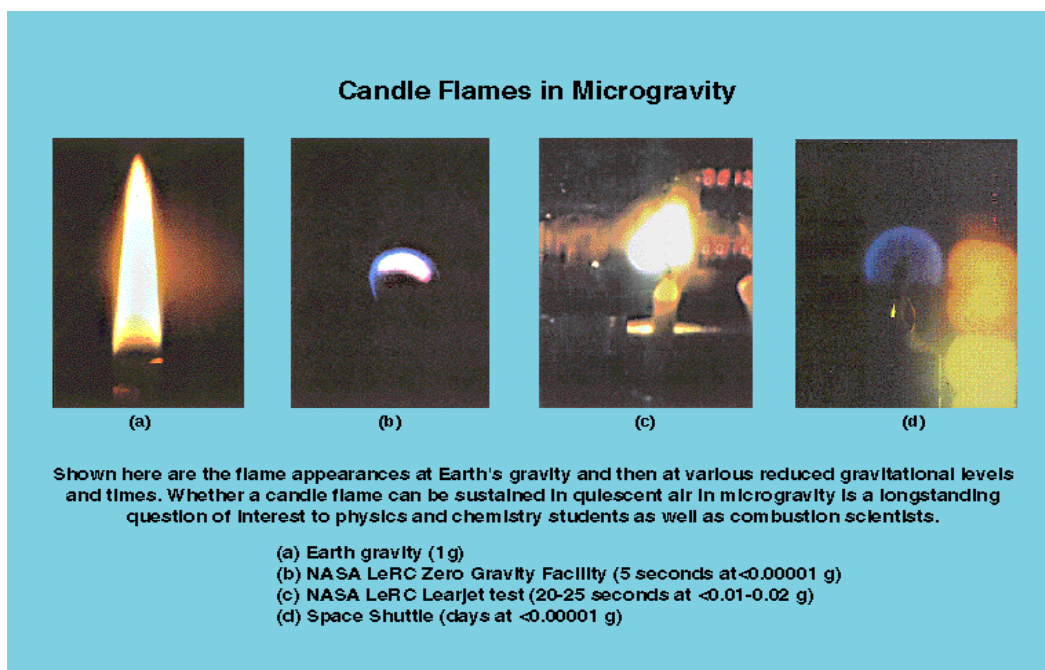


Fig. 14 - Comparação do estado de uma chama.

FONTE: NASA, 03/05/2000.

3.2 TRANSIÇÃO LÍQUIDO/VAPOR

Quando um líquido é aquecido até a ebulição (considerando uma determinada pressão), existe um momento em que é muito difícil a distinção entre a fase de líquido e a de gasoso pois a substância pode ter as propriedades de ambas. Esse ponto, chamado de

“ponto crítico”, tem muito interesse dos cientistas, mas a gravidade distorce os resultados observados, daí a necessidade de experimentação em ambiente de microgravidade.

3.3 ELETROFORESE

Em biologia, utilizam-se de soluções para fazer drogas farmacêuticas. Uma forma de melhorar a pureza de soluções é separando e removendo moléculas indesejáveis, aumentando a eficiência da droga. O processo de eletroforese usa as cargas elétricas para carregar e atrair determinadas moléculas de interesse. Na Terra a força da gravidade mascara esse efeito. Em microgravidade esse processo é mais eficiente.

3.4 FÍSICA DOS FLUIDOS

Na Terra, as bolhas de gás sobem quando formadas em um líquido porque o líquido é mais denso do que o gás. Como em microgravidade nem as bolhas nem o líquido têm peso, então as bolhas não têm motivo para subir. Bolhas podem causar problemas em fluidos que forem projetados para operar no espaço como combustível, oxigênio ou água.

3.5 CIÊNCIA DOS MATERIAIS

Ligas metálicas são formadas pela combinação de diversos metais e aqui na Terra isso pode ser mais difícil devido aos diferentes pesos e densidades de cada metal. Quando derretidos os metais mais pesados tendem a afundar e os mais leves a flutuar. Isso causa uma separação entre eles, em camadas, assim como numa mistura de água e óleo. Já em microgravidade esse efeito desaparece, permitindo que se crie ligas metálicas que seriam impossíveis de se obter na Terra.

3.6 CRESCIMENTO DE CRISTAIS DE PROTEÍNAS

Os cristais de proteínas e de vírus são maiores quando crescidos em microgravidade. Os cristais maiores facilitam aos cientistas determinar a estrutura molecular das proteínas e dos vírus e essa informação pode ser usada para projetar drogas mais eficientes para o combate a doenças.

3.7 CRESCIMENTO DE TECIDOS

Fora do corpo humano (in vitro) as células tendem a crescer em formações planas de duas dimensões. Através de equipamentos adequados é possível suspender as células em um fluido, permitindo que elas cresçam em 3 dimensões assim como no corpo humano (in vivo). Esses tecidos podem ser usados para substituição de outros danificados no caso de acidentes ou doenças.

3.8 FUSÃO DE CÉLULAS

Em microgravidade é possível a fusão ou “mistura” de células de variedades de plantas com o objetivo de obter plantas mais fortes, resistentes a pragas, mais produtivas, ou a fusão de células de animais para a produção em laboratório de anticorpos, vacinas, etc. Nesses experimentos a microgravidade aumenta muito a probabilidade de se conseguir uma célula híbrida comparado ao que se obteria na Terra, célula esta com características de ambas as células originais, e muitas outras aplicações.

4 A PLATAFORMA SUBORBITAL – PSO

A PSO é uma das iniciativas do INPE para a obtenção de microgravidade. Ela permitirá que muitos experimentos possam ser realizados no Brasil, utilizando tanto o foguete como a plataforma (PSO) e, também, a base de lançamento nacionais.

Uma missão típica da PSO começa no instante da separação do último estágio do foguete Sonda III, após o término da queima do conjunto propulsor, momento em que começa a manobra de estabilização. Ver a Figura 7.

Nesse instante a PSO acabou de ser arremessada numa trajetória parabólica com apogeu (ponto mais alto da trajetória) de aproximadamente 480 Km de altitude durante a qual não se tem forças externas atuando sobre a mesma. Essa situação se prolonga até a reentrada na atmosfera, o que acontece até 8 minutos depois.

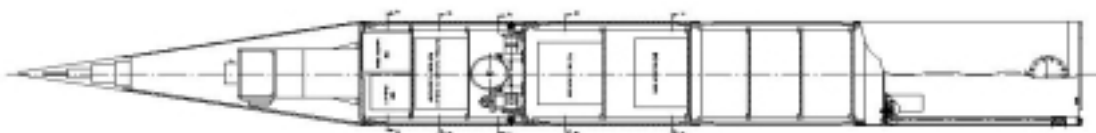


Fig. 15 - Um diagrama em corte da PSO.

FONTE: INPE, Projeto PSO, 1998.

No momento da separação foguete/PSO inicia-se a manobra de redução das rotações da plataforma. As rotações são sentidas por sensores especiais e, através de um Computador de Bordo, comanda-se os propulsores até que as velocidades de rotação estejam reduzidas a próximo de zero.

Após essa redução das velocidades angulares tem-se dentro da PSO o que se pode chamar de um ambiente de microgravidade, que permite realizar uma série de experimentos de forma bastante privilegiada, objetivo principal deste Projeto.

Todos os equipamentos de bordo estarão sendo monitorados pela telemetria. As velocidades angulares da PSO serão lidas pelos sensores de bordo. Alguns desses sensores fornecerão uma indicação precisa da microgravidade obtida.

A telemetria fornecerá, também, os instantes de abertura e fechamento dos propulsores, indicando a execução da Lei de Controle a Bordo.

A PSO sairá da atmosfera terrestre (até 100Km) e cairá de volta uns 8 minutos depois. Toda vez que um corpo reentra na atmosfera da Terra ocorre um fenômeno de aquecimento devido ao atrito com o ar. No caso da PSO esse aquecimento não será muito intenso, mas poderá danificar as cablagens e equipamentos. Dessa forma, ao fim do período de microgravidade (mas antes da reentrada), o Computador de Bordo colocará a PSO em um movimento de rotação, que servirá para evitar um aquecimento excessivo em apenas um dos lados da mesma.

A reentrada na atmosfera deve ocorrer com uma velocidade de 3.500m/s, o que será amortecido pela crescente densidade do ar para uma velocidade de 100m/s na baixa atmosfera. Na altitude de 15.000 pés, aproximadamente 5 Km, um sistema autônomo no Subsistema de Recuperação dispara um conjunto de parafusos explosivos que desencadeia a liberação de um pára-quedas piloto e, depois, do pára-quedas principal, que terminará de abrir em torno dos 3.500m de altitude. A partir desse instante uma bóia será inflada para segurar a PSO flutuando junto à superfície do mar. A velocidade de pouso no mar é de 10m/s, a nominal de projeto.

Quando da abertura do pára-quedas na altitude de 3.500m, a PSO já poderá ser avistada pelos aviões da FAB, que informarão ao navio da Marinha a localização exata da mesma. Dois helicópteros serão enviados quando os navios estiverem próximos do local indicado e homens rãs farão a recuperação da PSO no mar.



Fig. 16 - As baias de instrumentação da PSO, com a parte externa retirada.

FONTE: INPE, Projeto PSO, 1999.



Fig. 17 - PROJETO PSO: Detalhes de montagem do conjunto

FONTE: INPE, Projeto PSO, 1999



Fig. 18 - PROJETO PSO: Outros detalhes de montagem do conjunto.

FONTE: INPE, Projeto PSO, 1999.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boeing, **International Space Station Home**, www.boeing.com/defense-space/space/spacestation, [on line], 03/mai/2000.

Corbis Pictures, **The Place for pictures on the internet**, [on line], http://search.corbis.com/partner/av_corbis.asp, 03/mai/2000.

Ishikawajima Heavy Industries, **Executive Summary Report 1999/2000**, Space Development Division.

Milani, P.G. et al.: **Documentação de projeto emitida pela Engenharia de Produto**. São José dos Campos: INPE.PSO, mar/2000, (Revisão Final de Projeto da Plataforma SubOrbital, A000).

NASA, **Microgravity Photogallery of Normal-gravity vs. Microgravity Comparisons**, [online] <http://zeta.lerc.nasa.gov/school/gallery.htm>, 03/mai/2000.

Maximov Publications, **Latest Status Report**, Images [on line], <http://www.maximov.com/Mir/homepage.asp> , 03/mai/2000.

Texas A&M University, **The Reduced gravity environment**, [on line] www.mengr.tamu.edu/ResearchGroups/BoilingInReducedGravity/reduced.html, 04/mai/2000.