



EXPERIMENTOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS EM AMBIENTE DE BAIXA GRAVIDADE

Flávio de A. Corrêa Jr.

Paulo Moraes Jr.

Centro Técnico Aeroespacial/Instituto de Aeronáutica e Espaço
Divisão de Sistemas Espaciais
Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes, 50
12228-904 São José dos Campos- SP, Brasil

Resumo. *Experimentos em ambiente de baixa gravidade vem encontrando um crescente interesse científico e tecnológico. Um ambiente de baixa gravidade possibilita a produção de cristais homogêneos e perfeitos de substâncias químicas, a formação de novas ligas metálicas, novos chips eletrônicos, inúmeras pesquisas agrônômicas e em bio-materiais, etc.. Para obtenção de um ambiente de baixa gravidade podem ser utilizados diversos meios se considerados os custos, e o tempo disponível para a condução dos experimentos. Complementando estes sistemas, vem sendo desenvolvido uma plataforma orbital recuperável a qual, posicionada em uma órbita de 300 km, permitirá a realização de experimento em microgravidade, vácuo, radiação solar direta, baixas temperaturas, etc.. O sistema, constituído de plataforma em forma de cápsula, permanece em órbita pelo tempo necessário para a condução dos experimentos, sendo em seguida redirecionado à Terra e recuperado. Trata-se de uma alternativa promissora em relação aos atuais sistemas, os quais tem um custo por hora e capacidade de carga útil relativamente alto para os usuários de experimentos de pequeno porte, devendo portanto despertar interesse junto à comunidade científica. O presente artigo aborda brevemente os diferentes meios para realização de experimentos em ambiente de microgravidade, e apresenta e discute o módulo de experimentação da plataforma proposta.*

Palavras-chave: *Microgravidade, Plataforma orbital, Satélite recuperável, Experimentos em microgravidade*

1. INTRODUÇÃO

Experimentos científicos e tecnológicos em ambiente de baixa gravidade vem encontrando cada vez mais usuários e utilidade. Atuando de maneira dominante e direcionada sobre os mais diversos tipos de fenômenos naturais, a força gravitacional terrestre chega por vezes a mascarar-los (ex.: convecção termocapilar ou convecção de Marangoni), apenas sendo possível a verificação destes efeitos em um ambiente onde se promova sua redução significativa. A ação da gravidade, como fenômeno natural, altera padrões pela distorção

cristalina de certos materiais e substâncias, além de impossibilitar a mistura de elementos de densidades muito diferentes na superfície da Terra. A redução do nível de gravidade possibilita a produção de cristais homogêneos e perfeitos de substâncias químicas, a formação de novas ligas metálicas, novos *chips* eletrônicos, inúmeras pesquisas agrônômicas e em bio-materiais, etc..

Para obtenção de um ambiente de microgravidade são usados atualmente diversos meios ou tecnologias, entre os quais encontram-se: torres de queda livre, aeronaves em vôo parabólico, foguetes de sondagem, ônibus e plataformas espaciais. Em função dos custos e do tempo disponível para condução dos experimentos, cada um desses meios encontra sua aplicação. Torres de queda livre e aeronaves em vôo parabólico permitem experimentos de alguns segundos de duração, foguetes de sondagem de minutos, enquanto que as plataformas espaciais (MIR e similares) não tem praticamente limites. Os custos dos experimentos variam, segundo o meio, desde US\$ 1.000.000,00, até US\$ 1,00 por cada quilograma e cada hora de experimento (Boudreault, 1988). A “Fig. 1” ilustra bem o exposto acima.

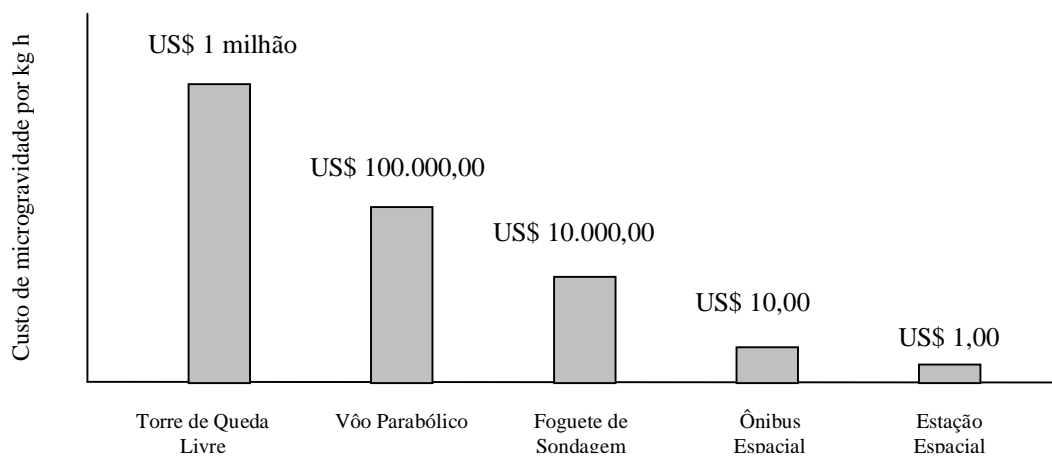


Figura 1- Magnitude do custo de microgravidade por quilo, hora e meio.

No Brasil, experimentos em microgravidade vem sendo realizados com a utilização de foguetes de sondagem, desenvolvidos e operados pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço, do Centro Técnico Aeroespacial. Destacam-se aqui os veículos VS30, “Fig. 2”, e o VS40, “Fig. 3”, como veículos que apresentam desempenho adequado para obtenção de um ambiente de baixa gravidade, podendo o VS30 (Palmério,1997), obter aproximadamente 6 min de baixa gravidade, enquanto que o VS40 (Boscof & Macera, 1993) está qualificado para até 10 min.



Figura 2- Foguete VS30



Figura 3- Foguete VS40

Há algum tempo trabalha-se na concepção de uma plataforma que venha complementar os meios hoje existentes para realização de tais tipos de experimentos (Moraes & Pilchowski, 1997). O sistema proposto é constituído de uma plataforma, em forma de satélite (ou cápsula), o qual após sua satelização permanece em órbita pelo tempo necessário para a condução dos experimentos, sendo em seguida redirecionada à Terra, onde é recuperada em solo. Este sistema representa uma alternativa promissora em relação aos sistemas atualmente utilizados, os quais tem um custo por hora e capacidade de carga útil relativamente alto, e deve portanto despertar interesse junto à comunidade científica interessada na realização dos experimentos. Seu custo por hora e capacidade de carga deverá se situar entre os valores de referência apresentados para os foguetes de sondagem e os ônibus espaciais.

2. EXPERIMENTOS EM MICROGRAVIDADE: MEIOS

Distintos meios são atualmente oferecidos para realização de experimentos em ambiente de microgravidade. Estes vão desde a utilização de torres de queda livre, aeronaves de médio ou grande porte em vôo parabólico, foguetes de sondagem e, finalmente ônibus e estações espaciais. A seguir estes meios são brevemente descritos e comentados com respeito ao seus espectros de utilização.

2.1 Torres de queda livre

As torres de queda livre acomodam uma vasta gama de experimentos em microgravidade. Possuem dentre seus limitantes as dimensões do experimento (o experimento é acomodado em uma cápsula para o ensaio), a desaceleração final da queda, e o pequeno tempo de microgravidade.

Se promovido vácuo ($\sim 10^{-2}$ torr) no duto de queda visando a redução das forças de arrasto durante o trajeto, o nível de microgravidade atinge valores próximos a 10^{-5} g.

Durante a queda, a cápsula é monitorada. Ao final do trajeto, um sistema de amortecimento reduz o impacto para parar a cápsula (nível de 65 g por alguns milissegundos).

Como exemplo de torres de queda livre tem-se a do ZARM em Bremen/Alemanha (4,7 s de queda livre) - “Fig. 4”, as da NASA no Lewis Research Center em Cleveland/ Ohio/ EUA (5,2 s de queda livre) e no Marshall Space Flight Center em Huntsville/Alabama/ EUA (4,5 s de queda livre), e a do Japan Microgravity Center (JAMIC) em Kamisunagawa/Hokkaido/Japão (11,7 s de queda livre).



Figura 4- Torre do ZARM, Bremen.

2.2 Aeronaves em vôo parabólico

Aeronaves podem fornecer períodos de microgravidade de cerca de 25 segundos em até 40 vezes por missão. Para tal, a aeronave ascende e desce em ângulos de 45° perfazendo uma trajetória parabólica, “Fig. 5”.

Devido as forças aerodinâmicas de arrasto, e ao fato de a aeronave não se encontrar em verdadeira queda livre, um nível de 10^{-3} g pode ser alcançado em aeronaves de grande porte,

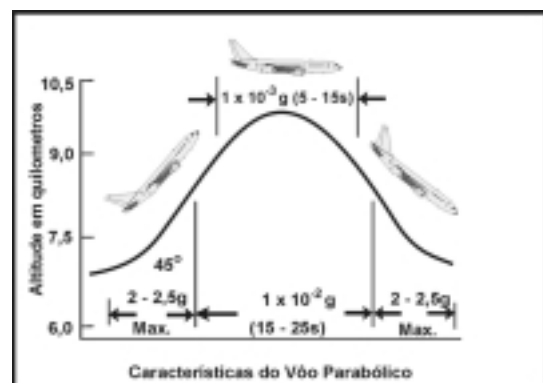


Figura 5- Aeronaves em vôo parabólico.

como por exemplo o Ilyushin IL-76MDK, o Caravelle 6R-224 , e o Boeing KC-135A. Um nível de 5×10^{-2} a 75×10^{-2} g pode ser alcançado em aeronaves de pequeno porte como o Learjet (em períodos de 20 segundos). Como vantagem, os vôos parabólicos possibilitam aos pesquisadores acompanharem os próprios experimentos *in loco*, possuindo também menor restrição quanto ao volume do experimento.

2.3 Foguetes de sondagem

Em foguetes de sondagem seguindo trajetórias suborbitais é estabelecido um ambiente de queda livre durante a fase de “coast”, após a finalização da queima do propelente do último propulsor do veículo, e antes da reentrada na atmosfera. O período e o nível de microgravidade dependem do foguete e da trajetória, ficando porém compreendidos entre 5 e 15 minutos em média, atingindo níveis de microgravidade da ordem de 10^{-5} g na inexistência de acelerações residuais.

Foguetes de sondagem, “Fig. 6”, são utilizados por serem um meio de acesso a elevadas altitudes (de 120 km a 1500 km) a um baixo custo com possibilidade de recuperação e eventual reutilização de sua carga-útil para outros vôos.

Não é regra, mais é comum observar que veículos para estudos de microgravidade são constituídos de propulsores comerciais, havendo um desenvolvimento apenas do módulo de experimentação pelo organismo que gerencia ou comercializa o meio (ex.: MAXUS, TEXUS, MINITEXUS, etc.) (Daimler-Benz, 1995). Dentro deste módulo são acomodados todos os experimentos científicos, que dependendo do veículo, e dos requisitos técnicos e experimentais, pode conter até mais de uma dezena de experimentos independentes.



Figura 6- Foguete de sondagem.

2.4 Ônibus e estações espaciais

Experimentos de microgravidade podem ser efetuados a bordo do ônibus espacial, “Fig. 7”, obtendo-se até 14 dias de exposição a um ambiente de microgravidade de aproximadamente 10^{-5} g, tendo como possibilidade a intervenção e/ou assistência direta efetuada por astronautas. Como desvantagens pode-se citar o custo, o tempo requerido para trâmites legais de documentação, as acelerações e as vibrações provenientes do lançamento, além das perturbações causadas pelas acelerações induzidas devido às atividades da tripulação.

Por intermédio da Agência Espacial Russa, pode-se levar um limitado número de experimentos a bordo da estação espacial MIR. Este meio provê ao usuário um ambiente de microgravidade ($\sim 10^{-5}$ g) de longa duração, contando ainda com a intervenção/assistência no experimento efetuada pela própria tripulação. Possui as mesmas restrições apontadas ao ônibus espacial.

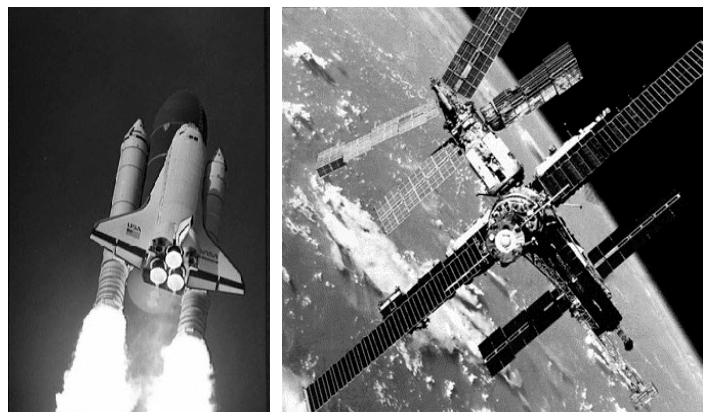


Figura 7- Ônibus e Estação Espacial

Em um futuro próximo outras estações como a ISS (International Space Station), atualmente em fase de integração, proverão o usuário de outras opções e oportunidades para a realização de experimentos.

3. EXPERIMENTOS EM MICROGRAVIDADE: REQUISITOS

Os requisitos impostos pelo usuário de microgravidade dizem respeito ao nível de acelerações residuais no ambiente em que se processam os experimentos, bem como ao tempo disponível nestas condições.

3.1 Qualidade do Ambiente de Microgravidade

O termo microgravidade literalmente significa um estado de muito pouca gravidade. O prefixo “micro” vem da palavra grega mikros, e significa pequeno. Em termos métricos o prefixo significa uma parte por milhão (0,000001). A gravidade domina tudo na Terra, desde os meios em que a vida se desenvolve até a forma com que os materiais se interagem. Existem no entanto, apenas duas maneiras de obter um estado de microgravidade: ou pelo distanciamento da Terra de aproximadamente 6,37 milhões de km, ou pela indução de uma queda livre.

Em se considerando uma queda livre, entende-se por estado de microgravidade o valor aparente da aceleração gravitacional no ambiente no qual serão conduzidos os experimentos. Estes valores variam de 10^{-3} a 10^{-6} g, atribuindo-se o grau de melhor qualidade ao menor valor aparente desta aceleração.

Enquanto alguns experimentos contentam-se com níveis de microgravidade da ordem de 10^{-3} g, outros requerem 10^{-6} g. Distúrbios como manobras orbitais, ventos solares, força de Coriolis, forças de Coulomb, e até a própria tripulação (operações manuais, respiração, espirros, deslocamentos, etc.) influenciam na qualidade de microgravidade. A obtenção de uma menor aceleração residual resulta na opção de uma plataforma mais sofisticada e portanto em um maior custo. Logo, é importante desde já estabelecer o cenário de usuários para os quais deseja-se oferecer uma plataforma de experimentos.

3.2 Duração da Microgravidade

A duração da microgravidade é o intervalo de tempo durante o qual condições adequadas de microgravidade se estabelecem.

Portanto a escolha do meio a ser utilizado vai depender tão somente do tipo de experimento que se deseja realizar, pois ele tem determinado o tempo para a sua execução.

4. EXPERIMENTOS EM MICROGRAVIDADE

À ausência de gravidade induz um ambiente onde se verificam a ausência de sedimentação, de empuxo, de convecção térmica, de pressão hidrostática, e de condensação por contato com container (uma vez que se podem utilizar pontes líquidas) dentre outros efeitos.

A microgravidade é utilizada para pesquisa científica pura, porém também é utilizada para otimizar processos na terra em ciências aplicadas, e em engenharia. Além do mais a microgravidade contribui para pesquisas em saúde desde inovações em diagnósticos até em descobertas relativas a causa das moléstias.

Distintos tipos de experimentos são realizados em ambiente de microgravidade. Citam-se:

- metalúrgicos
- agronômicos
- fisiológicos
- físico-químicos
- biotecnológicos, e outros mais.

Cada um destes experimentos exige típicos tempos de duração e de qualidade do ambiente (em termos de frações da aceleração gravitacional, vácuo, etc.). Portanto para cada experimento haverá sempre uma plataforma mais adequada a sua execução, daí ser de importância conhecer alguns aspectos dos experimentos científicos e tecnológicos que vem sendo realizados. Por ser vasto o campo de aplicações, alguns tipos de experimentos serão brevemente descritos (Boudreault, 1991; Feuerbacher, 1986).

4.1 Experimentos metalúrgicos

Os experimentos metalúrgicos normalmente abrangem o desenvolvimento de novas ligas metálicas e cerâmicas, e de vidros especiais. Em geral a fusão de novas ligas se faz em pequenos corpos de prova num tempo relativamente pequeno (aproximadamente 200 segundos).

4.2 Experimentos agronômicos

Pesquisas agronômicas já efetuadas em ônibus espacial mostram que a ausência da gravidade também influencia o desenvolvimento de vegetais. Em paralelo a estes estudos, desenvolvimentos de fungicidas mais eficientes estão sendo realizados em função da cristalização de proteínas em ambiente de microgravidade.

4.3 Experimentos fisiológicos

O campo da microgravidade em experimentos fisiológicos é amplo, cobrindo desde novos diagnósticos até estudos relativos a influência de longa exposição a microgravidade pelo corpo humano. Fenômenos observados na ausência de gravidade pelo corpo humano como por exemplo a descalcificação óssea acentuada, problemas cardiovasculares, e problemas no sistema neuro-auditivo estão sendo estudados.

4.4 Experimentos físico-químicos

Figuram neste campo o estudo da produção de cristais perfeitos, de melhores semicondutores, o estudo de fenômenos de transporte de fluidos (difusão, convecção, sedimentação/flutuação, capilaridade), combustão, etc. Cristalizações e fabricação de semicondutores demandam um tempo relativamente longo, se não horas ou até dias para o término do ensaio.

4.5 Experimentos biotecnológicos

Experimentos farmacológicos abrangem diversas áreas como a cristalização de proteínas para a cura de endemias e a produção de drogas inteligentes contra o câncer, AIDS, etc., a produção de colágeno, a bioseparação (eletroforese e separação termodinâmica de fase), microencapsulação e o estudo de culturas de células (bio-reatores). Em geral experimentos

bio-farmacológicos mais simples, e que demandam pouco tempo, podem ser realizados em foguetes de sondagem.

5. PLATAFORMA ORBITAL RECUPERÁVEL

Com objetivo de complementar os meios já existentes para realização de experimentos científicos e tecnológicos em ambiente de baixa gravidade, é proposto o desenvolvimento de uma Plataforma Orbital Recuperável (Moraes & Pilchowki, 1997).

Esta plataforma, “Fig. 8”, a seguir denominada de SARA (Moraes, 1998), é definida como sendo:

um satélite de pequenas dimensões, operando em órbita baixa, com capacidade de transportar experimentos científicos ou tecnológicos de pequeno porte, com permanência orbital de até 10 dias, sendo posteriormente conduzido à Terra, recuperado em solo e, reutilizado.

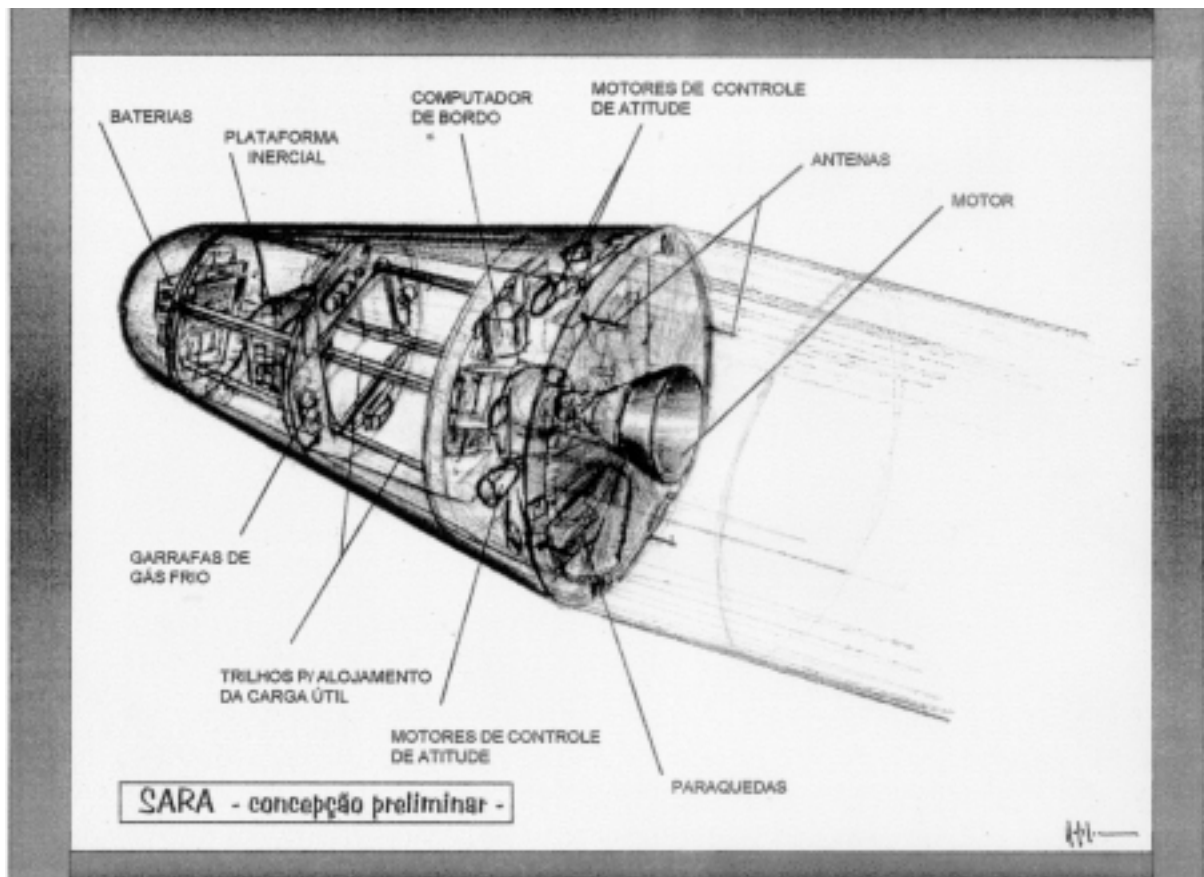


Figura 8- Plataforma Orbital Recuperável SARA

Sua capacidade de carga-útil é de 25 kg, comportando experimentos que exijam tempos de processamento de até 10 dias em um ambiente com um nível de 10^{-5} g. Seu lançamento em órbita de 300 km seria realizado com veículo brasileiro, VLS (Boscov, 1990) ou similar, a partir do Centro de Lançamento de Alcântara, com recuperação em solo em região próxima ao local de lançamento. Objetiva-se a reutilização da mesma sem necessidade de reposição de sua estrutura primária e de equipamentos, obtendo-se com isso um custo acessível para os usuários de experimentos de pequeno porte.

5.1 Módulo de Experimentação

Como componente integrante da plataforma orbital, o módulo de experimentação, “Fig. 9”, tem por função alojar em seu interior todos os experimentos científicos a serem embarcados durante o voo, promovendo a manutenção de ambiente e de facilidades apropriadas aos requisitos técnicos e experimentais do usuário.

Os experimentos serão dispostos em pratos dentro de um container vedado e com isolamento de vibrações. Ainda em projeto, este container possui como dimensões básicas externas um diâmetro de 500mm e uma altura de 514mm, totalizando um volume útil próximo a 0,07 m³. Temperatura, umidade, vibrações aleatórias e senoidais, pressão interna e nível de microgravidade serão monitorados durante a missão, possuindo a possibilidade de se efetuar comandos, medidas e transmissões de imagens por rádio enquanto a plataforma estiver em voo. O módulo será provido de condicionamento ambiental de temperatura e pressão durante a missão.

O acesso a carga-útil pelo usuário do experimento poderá ocorrer até cerca de uma hora antes do lançamento e uma hora depois da recuperação, sendo que um sistema de condicionamento externo de ar proverá a refrigeração do módulo quando o veículo já estiver na plataforma de lançamento.

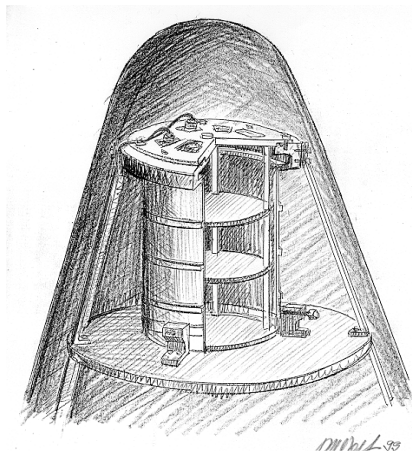


Figura 9- Módulo de experimentação

Características básicas do módulo:

- Volume ~ 0,07 m³;
- Dimensões externas = $\phi 500 \times 514$ mm;
- Dimensão do prato = $\phi 450$ mm, com pratos internos móveis e ajustáveis em altura;
- Peso máximo da carga-útil = 25 kg ;
- Alimentação: 28 VDC;
6 A.h; Ni-Cd ;
- Telemetria: Análoga/digital/vídeo (CCD mono);
- Telecomando;
- Ambiente controlado quanto ao tipo de atmosfera, pressão e temperatura ambiental;
- Monitoramento de acelerações em microgravidade;
- Fácil acesso aos experimentos.

6. CONCLUSÕES

Considerando a demanda crescente de usuários e de utilidades de experimentos em ambiente de microgravidade, está sendo desenvolvido um trabalho com objetivo de estabelecer o cenário de aplicações de uma plataforma orbital recuperável, para estes fins. Esta plataforma vem sendo atualmente desenvolvida no CTA/Instituto de Aeronáutica e Espaço em conjunto com o INPE, através da sua Divisão de Mecânica Espacial e Controle.

No presente artigo foram apresentados, descritos e comentados os diversos meios existentes para experimentação em microgravidade, os experimentos e finalmente discutido com mais detalhe as características do módulo de experimentação da plataforma orbital em desenvolvimento.

Conclui-se com o estudo que a proposta plataforma oferece uma alternativa acessível aos usuários de experimentos científicos e tecnológicos de pequeno porte. Seu custo por massa de carga útil, conjugado com o tempo disponível, situa-se entre aquele oferecido por um foguete

de sondagem e uma estação espacial. Sua facilidade de uso, com recuperação em solo, torna-a bastante competitiva frente as possibilidades hoje existentes.

REFERÊNCIAS

- Boscov, J. et alli, 1990, Development Status of the Brazilian VLS Satellite Launcher Program, 17th International Symposium on Space Technology and Science, Tóquio, Japão.
- Boscov, J., Macera, S. R., 1993, Programme Spatial Bresilien: La fusée VS-40, ESA SP-355, Proc. 11th ESA Symposium on European Rocket and Balloon Programs and Related Research, Lillehammer, Noruega.
- Boudreault, R., 1991, Core Curriculum Notes- Space Resources and Manufacturing, International Space University/Summer Session, Toulouse, France.
- Boudreault, R. , 1988, Design and Economics of Free-Flying Platforms for Space Manufacturing. Acta Astronautica, Vol. 17, nº 4.
- Daimler-Benz Aerospace, 1995, Microgravity Rocket Missions: A User's Guide to the Sounding Rocket Program of Daimler-Benz Aerospace AG, Space Infrastructure Division, FORM 0671.2V.0, Germany.
- Fueurbacher, B. , 1986, et al., Material Sciences in Space, Springer Verlag.
- Moraes, P., Jr. & Pilchowski, H.-U., 1997, Plataforma Orbital para Experimentação em Ambiente de Micro-Gravidade, Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM 97, Dezembro 8-12, Bauru-SP, vol. 1.
- Moraes, P., Jr., 1998, Design Aspects of the Recoverable Orbital Platform SARA, Anales do 8º Congreso Chileno de Ingenieria Mecánica, Octubre 26-30, Concepción, Chile, vol. 1, pp. 39-40.
- Palmério, A. F., 1997, Definition of the VS-30, 589-000000/B6001, CTA/IAE, São José dos Campos, Brasil.
- Rosenthal, B., et alli , 1987, Research Opportunities in Microgravity Science and Applications during the Shuttle Hiatus, NASA TM88964.

Title. *Scientific and technological experiments in low gravity environment*

Abstract. *Scientific and technological experiments in low gravity environment are finding an increasing demand. A low gravity environment enables the production of homogeneous and perfect chemical crystals, the creation of new metallic alloys, new electronic components, unaccountable agronomic and biomaterial researches, etc. In order to obtain a low gravity environment several ways can be used regarding the costs, and the available time for the experiment. Complementing those systems, a reusable orbital platform is been developed, which located in an orbit of 300 km will allow the experimentation with microgravity, vacuum, direct solar radiation, low temperatures, etc. The system, build in a platform with capsule shape, will stay in orbit during the time needed for execution of the experiment, being sent back to the Earth, and then recovered. This system is a good and affordable option when compared to actual systems in which the users of small experiments have high costs per payload capacity. The present paper gives a brief view about the different ways available for doing experiments in a microgravity environment, and shows and discusses the experimental module of the proposed platform.*

Key words: *Microgravity, Orbital platform, Recoverable satellite, Microgravity experiments*