

INSTITUTO FEDERAL  
GOIÁS

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE PESQUISA E INOVAÇÃO

## RELATÓRIO FINAL

### **“Estudo Diagnóstico do Estágio de Desenvolvimento da Propulsão Elétrica no Brasil”**

**NOME DO BOLSISTA:** Arthur Rocha Damaso dos Santos

**NOME DO ORIENTADOR:** Victor Racy Abdalla

**DATA DE INGRESSO COMO BOLSISTA (MÊS/ANO):** Agosto/2011

**NOME DO CURSO:** Engenharia Elétrica

**PERÍODO QUE ESTÁ CURSANDO:** 8º Período

**É BOLSISTA DE RENOVAÇÃO:** ( ) SIM (x) NÃO

Jataí, JULHO DE 2012

## **Estrutura do relatório final**

- Identificação do Projeto e Componentes;
- 2 – Introdução;
- 3 – Material e Métodos;
- 4 – Resultados;
- 5 – Conclusão;
- 6 – Perspectivas de continuidade ou desdobramento do trabalho;
- 7 – Publicações e participações em eventos técnico-científicos;
- 8 – Apoio e Agradecimentos;
- 9 – Referências Bibliográficas;
- 10 – Bibliografia.

## **1 – Identificação do Projeto e Componentes**

Título do Projeto: Estudo Diagnóstico do Estágio de Desenvolvimento da Propulsão Elétrica no Brasil

Bolsista: Arthur Rocha Damaso dos Santos

Orientador: Victor Racy Abdalla

Local de execução: Jataí-GO

Vigência: Agosto/2011 a julho/2012

## **2 – Introdução**

*A propulsão elétrica surgiu como uma forma de proporcionar às missões espaciais uma maior duração, sendo possível alcançar lugares nunca antes visitados. Com esses avanços o planejamento de missões espaciais de maior duração se tornaram possíveis, se valendo de propulsores que utilizam campos elétricos e magnéticos.*

*O fato de a propulsão elétrica (PE) estar em evidência, não quer dizer que ela foi inventada há pouco tempo, pelo contrário, o estudo sobre o desenvolvimento de propulsores a base de fenômenos elétricos e magnéticos não vem de hoje, nem mesmo deste século. Sua aceitação tardia foi a principal causa de seu tardio aparecimento para o mundo.*

*A PE pode ser descrita de forma reduzida, tendo sua história relacionada à cinco pontos principais:*

1. *A Era de Visionários: 1906-1945*
2. *A Era dos Pioneiros: 1946-1956*
3. *A Era de Diversificação e Desenvolvimento: 1957-1979*
4. *A Era da Aceitação: 1980-1992*
5. *A Era de Aplicação: 1993-presente*

*Essa divisão proporciona um melhor entendimento de todo o processo de estudo, criação, discussão, aceitação posterior, e por fim, a experimentação desta tecnologia. A aceitação da PE aconteceu de forma tardia. O sonho de seus idealizadores era que hoje já se usasse tal tecnologia na exploração de planetas, principalmente fora do sistema solar, mas o que se tem hoje é uma aplicação ainda digamos que discreta, sendo empregada em satélites geoestacionários, e mais recentemente em missões de reconhecimento em viagens mais longas.*

*Novas tecnologias sempre enfrentam resistência, os mais conservadores são céticos, e com a PE não foi diferente. O uso sistemático desta tecnologia foi adiado até as duas últimas décadas do século 20, principalmente devido a grandes aportes financeiros concedidos aos tipos de propulsores já existentes. O fato de que a instalação da PE poder provocar uma diminuição de custos e ainda ter um bom desempenho se tratando de consumo de combustível – como foi provado em experiências feitas na União Soviética – serviu de estímulo para sua aceitação, mesmo que tardia.*

*Os estudos sobre propulsores elétricos estão sendo desenvolvidos desde 1960, desde então, muitos modelos foram testados e aperfeiçoados. Porém, mesmo muito antes disto, visionários do início do*

século passado já vislumbravam a utilização de cargas elétricas para aceleração de foguetes, como é o caso de Robert Goddard, em 1906, nos EUA.

Ainda antes de Goddard, em 1903, o cientista russo Konstantin E. Tsiolkovsky (considerado o pai da astronáutica) definiu a “equação do foguete”, uma relação matemática usada para calcular o consumo de combustível das missões espaciais. Oito anos depois, em 1911, ele propôe acelerar partículas carregadas em campos magnéticos para gerar empuxo num foguete.

Em 1930, físico alemão Herman Oberth, desenvolveu um conceito matemático sobre a propulsão elétrica. Alguns anos mais tarde, em 1958, houve uma movimentação maior, e começou-se a trabalhar com o plasma (gás ionizado), utilizando o mesmo para propulsão de foguetes.

Mas este estudo feito em 1958 foi reflexo do que aconteceu alguns anos antes, em 1955, com o estudo de Stuhlinger: “Possibilities Of Electrical Space Ship Propulsion”. Este estudo foi apresentado no Congresso de Astronáutica dos Estados Unidos. O estudo apontava que em uma missão para Marte, a relação entre massa inicial e massa final se desenvolveria em uma proporção de 25:1, isso utilizando propulsores químicos como fonte motor. Foi então que Stuhlinger mostrou que, caso fosse utilizado um sistema de propulsão elétrica de baixo peso a proporção em massa diminuiria bastante, com esse argumento ele conseguiu convencer a comunidade científica.

A viabilidade técnica é algo que preocupava os cientistas na década de 50, pois, com os primeiros estudos feitos com propulsão elétrica, era preciso provar que o investimento em uma tecnologia pouco conhecida seriam algo vantajoso. Em 1959, isso ficou a cargo de A. T. Forrester, que utilizou um propulsor a base de Césio que usava ionização termiônica. Com esse propulsor, ele conseguiu demonstrar a viabilidade técnica da propulsão a plasma.

A NASA em 1960 conseguiu lançar satélites utilizando propulsores elétricos, neles, estavam os primeiros propulsores elétricos em satélites, o que foi um grande salto para que a tecnologia se desenvolvesse ainda mais.

Enquanto os pesquisadores do EUA mantinham pesquisas em propulsores acelerados por efeito hall, os russos apostaram nos motores de Kaufmann, isso levou ao domínio da tecnologia pelos russos anos antes dos norte americanos.

O ano de 1962 também foi de grande importância para a propulsão elétrica. Pesquisas orientadas na União Soviética, Estados Unidos e Europa resultaram na primeira descrição do propulsor de efeito Hall, uma categoria muito veloz dos foguetes a plasma. Neste mesmo ano, Adriano Ducati descobriu sobre o funcionamento do propulsor magnetoplasmadínâmico, a categoria mais potente dos propulsores a plasma.

Os sistemas de propulsão podem ser classificados em sistemas com fonte de energia própria, como é o caso da propulsão química, ou sistemas com fonte de energia separada, como são os casos da propulsão elétrica, nuclear e solar (BLANC, 1961); (BUSSARD ; DE LAUER, 1965).

A propulsão elétrica utiliza energia elétrica para acelerar o propelente e produzir empuxo. As fontes de energia elétrica (painéis solares, baterias) são, normalmente, separadas do mecanismo que produz o empuxo. Os processos fornecem altas velocidades de ejeção e um baixo consumo de combustível, durante períodos muito longos. Entretanto, os empuxos são baixos e as fontes de energia podem ser relativamente pesadas. Existe, em alguns casos, a necessidade de neutralizar eletricamente os jatos depois que deixam a tubeira, para evitar o desenvolvimento de cargas eletrostáticas na estrutura do propulsor.

Segundo JAHN(1968), a propulsão elétrica divide-se em três tipos básicos:

- 1) Propulsão Eletrotérmica: o gás propelente é aquecido eletricamente, expandindo-se em seguida pela tubeira.
- 2) Propulsão Eletrostática ou Iônica: o propelente é acelerado pela aplicação direta de forças de campo elétrico a partículas ionizadas.
- 3) Propulsão Eletromagnética ou MPD (Magneto-plasma-dinâmica): o propelente é ionizado, formando um plasma, que é acelerado por interações de campos magnéticos internos e externos com correntes elétricas direcionadas sobre o fluxo.

Neste trabalho realizou-se um estudo teórico sobre a importância da propulsão elétrica em foguetes, comparando-a com outros meios de propulsão, apontando as vantagens e desvantagens deste tipo de tecnologia como também buscou-se determinar o grau de desenvolvimento das pesquisas em propulsão elétrica no país como forma de orientar estudos futuros.

Através de visita e interações por e-mail e telefone com pesquisadores da área observa-se que no Brasil, os estudos em Propulsão Elétrica se resumem basicamente a duas instituições: Universidade de Brasília (UnB) e Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), que tem parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estas instituições vêm trabalhando em protótipos e fazendo simulações em câmaras de Vácuo, para simular em partes o comportamento destes protótipos no espaço sideral.

### 3 - Material e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido baseando-se em publicações, listadas nas referências finais, e em entrevistas com pesquisadores de instituições nacionais. Na etapa inicial do trabalho fez-se um levantamento, baseado nas referências, sobre aspectos dos sistemas propulsivos elétricos tais como: a compreensão dos diferentes tipos de propulsores elétricos (eletrotérmicos, eletrostáticos, eletromagnéticos), as características físicas que os diferenciam, a forma de geração do empuxo de cada um desses sistemas e o apontamento das vantagens e desvantagens da aplicação dos sistemas propulsivos elétricos mais utilizados.

Na sequência buscou-se traçar um diagnóstico do atual estágio da pesquisa em sistemas propulsivos elétricos no Brasil catalogando os trabalhos das instituições brasileiras e interagindo com os pesquisadores da área. Estas interações se deram através de entrevistas in loco, de comunicação via e-mail e de contatos através de ligações telefônicas. Uma dificuldade encontrada para a realização de entrevista in loco foi a obtenção de recursos para a realização de viagem. Esta dificuldade foi sobreposta através de recursos próprios.

Paralelamente fez-se um estudo teórico dos principais projetos propulsivos realizados nos Estados Unidos, Europa e Ásia, berços das principais descobertas e investimento nessa área, com a finalidade de contextualizar o grau de desenvolvimento desse sistema propulsivo construídos no Brasil.

### 4 – Resultados

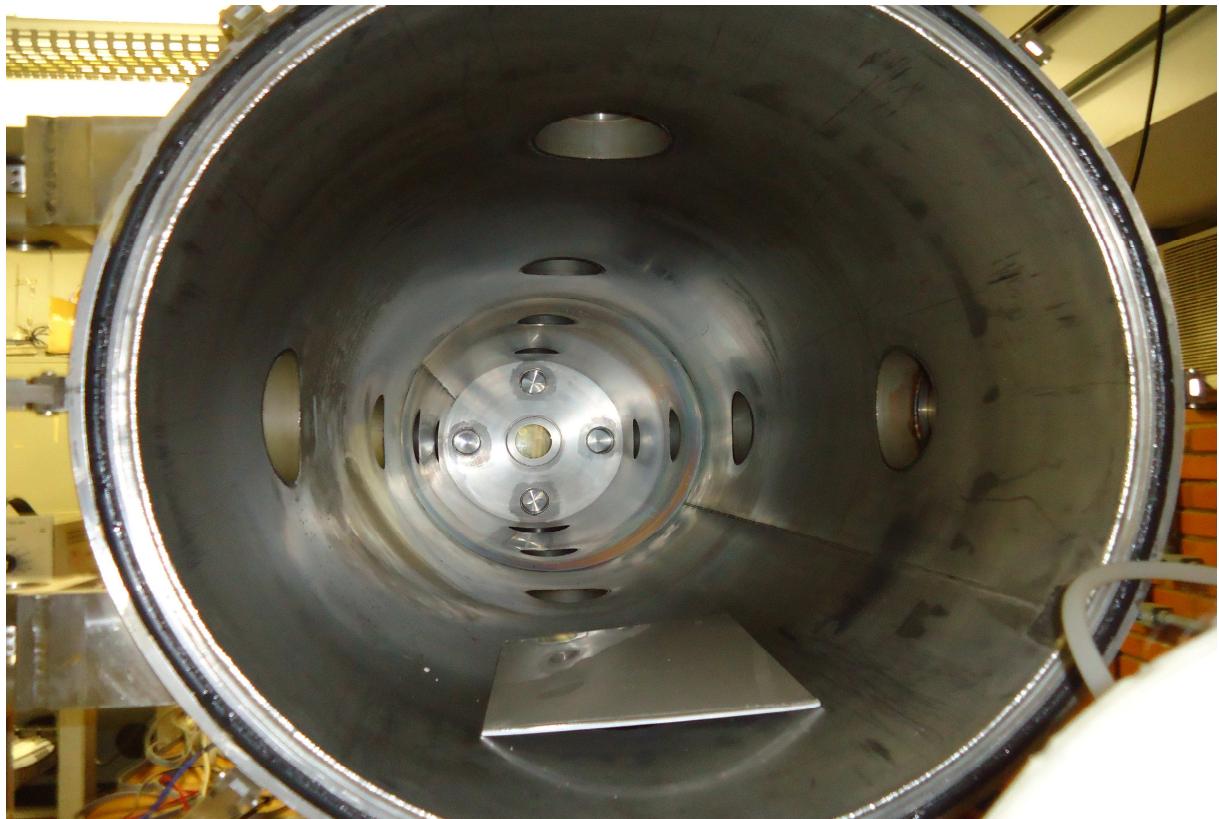
A propulsão elétrica se encontra em grande evidência nas agências espaciais das grandes potências mundiais, como é o caso dos EUA, União Europeia e alguns países da Ásia. Paralelamente outros países em desenvolvimento buscam consolidar suas pesquisas aeroespaciais criando grupos de pesquisas, como é o caso do Brasil. Com a pesquisa constatou-se que atualmente, duas instituições estão voltadas para o desenvolvimento de propulsores elétricos: a Universidade de Brasília-UnB, Dep. de Física, onde o professor Dr. José Leonardo Ferreira tem desenvolvido pesquisas na área e no Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA onde o professor Pierre Mattei se encontra envolvido nas pesquisas. Salienta-se que o Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA possui parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE.

Um grande problema enfrentado pelos pesquisadores brasileiros é a falta de apoio às pesquisas, uma vez que os investimentos neste tipo de tecnologia ainda é muito baixo, observa-se também que a falta de pessoal qualificado é também um fator impeditivo para o desenvolvimento da área.

Na Universidade de Brasília (UnB), os experimentos com os protótipos são realizados em câmaras de vácuo, que simulam as pressões da atmosfera residual da Terra. Esta câmara foi desenvolvida pelos próprios pesquisadores da universidade possuindo um comprimento aproximado de 2 m. As Figuras 1 e 2 mostram este equipamento.



**Figura 1 – Vista externa da câmara de vácuo.**



**Figura 2 – Interior da câmara de vácuo.**

As Figuras 3 e 4 apresentam uma visão geral do laboratório da Universidade de Brasília. O laboratório estava equipado com instrumentos para medições de valores de empuxos, de temperatura e de pressão, a fim de averiguar a eficácia do propulsor em desenvolvimento.



**Figura 3 – Visão geral da câmara de vácuo.**



**Figura 4 – Parte do Laboratório da UnB.**

A figura 5 mostra o montante onde é colocado o propulsor dentro da câmara de vácuo. Na Universidade de Brasília é desenvolvido um propulsor do tipo Hall, chamado de Phall 01, que vem sendo testado com o objetivo de aumentar sua eficiência e diminuir suas dimensões. Este motor está sendo desenvolvido para ser aplicado como motor de correção de órbita de satélites, ou seja, com objetivo específico de aumentar o tempo de vida útil do satélite.



**Figura 5 – Testes com o propulsor Hall.**

Como parte de um grupo no país que também faz pesquisas em propulsão elétrica, como já citado anteriormente, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) tem liderado o setor no Brasil e possui hoje laboratórios e produtos de alta qualidade. Contudo, a carência de mão de obra e de uma infra-estrutura melhor o limita no que se refere à velocidade de desenvolvimento e melhoria de características técnicas e funcionais de seus propulsores. Tendo em conta a proximidade geográfica e capacitação atual, o ITA se reveste das características necessárias para cooperar com o INPE para o avanço da propulsão elétrica no país.

O ITA possui as melhores instalações e o maior grupo na área de física de plasmas do hemisfério Sul e pode vir a contribuir significativamente com o desenvolvimento da propulsão elétrica no país. O grupo de plasmas deste Instituto possui pesquisas avançadas em diversas áreas com a tecnologia de plasmas, mas foi somente com a criação do curso de graduação em engenharia aeroespacial em 2010 e a demanda do INPE é que surgiu a necessidade de avanço neste setor. Assim, a cooperação do grupo de plasmas do ITA com o laboratório de plasmas do INPE é natural e os seus laboratórios estão preparados para iniciar as atividades no que se refere à formação de recursos humanos e pesquisa e desenvolvimento de subsistemas e, ao mesmo tempo, capacitar-se para exercer melhor a sua função. A Figura 6 mostra a câmara de vácuo instalada no laboratório do ITA.



**Figura 6** – Câmara de Vácuo comprada pelo ITA em 2011.

## 5 - Conclusão

A propulsão elétrica se encontra em grande evidência nas agências espaciais das grandes potências mundiais, como é o caso dos EUA, União Europeia e alguns países da Ásia. Paralelamente, outros países em desenvolvimento buscam consolidar suas pesquisas aeroespaciais criando grupos de pesquisas, como é o caso do Brasil. Com a pesquisa constatou-se que atualmente, duas instituições estão voltadas para o desenvolvimento de propulsores elétricos: a Universidade de Brasília-UnB, Dep. de Física, onde o professor Dr. José Leonardo Ferreira tem desenvolvido pesquisas na área e no Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA onde o professor Pierre Mattei se encontra envolvido nas pesquisas. Salienta-se que O Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA possui parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE.

Um grande problema enfrentado pelos pesquisadores brasileiros é a falta de apoio às pesquisas, uma vez que os investimentos neste tipo de tecnologia ainda é muito baixo, observa-se também que a falta de pessoal qualificado é também um fator impeditivo para o desenvolvimento da área, conforme salienta (Ferreira, 2004): “O problema para o avanço da pesquisa está na falta de verbas para esse projeto. Desde 1999, as pesquisas são apoiadas somente pelo Departamento de Física da UnB e por recursos obtidos nas fundações associadas à universidade.“.

Pode-se dizer que apesar de estar em um desenvolvimento lento, a propulsão elétrica tem recebido atenção especial de alguns pesquisadores e, que esta poderá ser utilizada no futuro em satélites de telecomunicações, previsões climáticas e outras atividades.

No Brasil os centros pesquisadores em propulsão elétrica se encontram distantes do IFG - Campus Jataí, o que impossibilitou possíveis visitas às universidades, como ITA em São José dos Campos-SP. O estudo focado nos fundamentos físicos do diferentes tipos de propulsores é uma forte perspectiva para o continuidade deste trabalho.

## 6 – Perspectivas de continuidade ou desdobramento do trabalho

O presente trabalho foi concluído de acordo com o inicialmente proposto, sendo uma possibilidade de desdobramento o estudo teórico dos fundamentos físicos envolvidos na Propulsão Eletrostática.

## 7 – Publicações e participações em eventos técnico-científicos

## 8 – Apoio e Agradecimentos

### Citar as agências que financiaram o projeto

Agradecimentos ao CNPq que propiciou uma bolsa de iniciação para este projeto, já que o mesmo inicialmente se caracterizava como voluntário.

### Citar pessoas ou instituições que tenham colaborado para a execução do projeto

Todos os agradecimentos aos professores que me orientaram neste projeto. Primeiramente ao prof. Artur Elias de Moraes Bertoldi, que foi quem propôs esta pesquisa. Com a saída do prof. Artur, o prof. Victor Racy Abdalla fez com que o projeto continuasse a ser desenvolvido.

Aos professores das instituições pesquisadores em propulsão elétrica no país: Pierre Mattei (ITA), Gilberto Sandonato (INPE) e José Leonardo Ferreira (UnB).

## 9 – Referências Bibliográficas

FERREIRA, J. L. Impulso no Espaço. **Pesquisa FAPESP**, Tecnologia, 97, 76-77, mar 2004.

BLANC, P. **Sur less systèmes de propulsion spatielle à source d'énergie séparée et à vitesse d'éjection élevée**. In :INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS, 12., Washington, D.C. roceedings... New York, NY: Academic, 1963.

JAHN, R. G., **Physics of electric propulsion**, 1. ed., New York: McGraw-Hill, 1968.

BUSSARD, R. W.; DE LAUER, R. D., **Fundamentals of nuclear flight**. New York, NY: McGraw Hill, 1965.

## 10 – Bibliografia

CHOUIRI, E. Y. Aurora dos Foguetes Elétricos. **Scientific American Brasil-Edição Especial Astronáutica**, Tecnologia Espacial, 45, 34-41, 2012.

SOUZA, João Henrique Campos de. **Estudo da Dinâmica de Partículas em um Propulsor a Plasma do tipo Hall com Ímãs Permanentes**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Física)-Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

CHOUIRI, E. Y. **A Critical History of Electric Propulsion: The First 50 Years (1906–1956)**, Journal of Propulsion and Power, Vol. 20, No. 2, March–April 2004 p. 193-203.

Ferreira J. L. & Ferreira I. S., **Primeiros Resultados do Desenvolvimento de um Propulsor a Plasma por Efeito Hall**, Revista Brasileira de Vácuo, 22, no. 2, p. 58, 2003.

COSTA, F. S. **Desenvolvimento de um propulsor eletrotérmico catalítico, usando óxido nitroso como propelente**. 2009. 168 p. (INPE-15749-TDI/1494). Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.