



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021

**NICOLAS EILERS SMITH SANTANA, Maj Av**

**Os benefícios do desenvolvimento de microrreatores nucleares pela Força  
Aérea Brasileira**

Rio de Janeiro

2021

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021

**NICOLAS EILERS SMITH SANTANA, Maj Av**

**Os benefícios do desenvolvimento de microrreatores nucleares pela Força  
Aérea Brasileira**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação em Gestão Pública com ênfase em Projetos e Processos.

Linha de Pesquisa: Emprego da Força Aérea  
Orientador: Antônio Pereira Damasceno Neto, Maj Av

Rio de Janeiro

2021

**NICOLAS EILERS SMITH SANTANA, Maj Av**

**Os benefícios do desenvolvimento de microrreatores nucleares pela Força  
Aérea Brasileira**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da  
Aeronáutica.

Aprovado por:

---

**Wellington** Azevedo dos Santos, Maj Inf  
EAOAR

---

Antônio Pereira **Damasceno** Neto, Maj Av  
EAOAR

Rio de Janeiro

2021

## RESUMO

O emprego de energia nuclear tem sido cada vez mais comum ao redor do mundo desde o final da Segunda Guerra Mundial. Um de seus principais atrativos consiste na capacidade de gerar uma elevada quantidade de energia a partir de pequenas massas. Nos últimos anos, um conceito que tem despertado gradualmente maior atenção é o dos microrreatores nucleares, os quais podem ser operados em locais remotos e com baixas necessidades energéticas, a custos bem mais acessíveis em comparação aos reatores comuns. O presente ensaio defende que o Comando da Aeronáutica deve promover o desenvolvimento dos referidos microrreatores em suas instituições de Pesquisa e Desenvolvimento, a fim de conseguir importantes benefícios estratégicos. O primeiro argumento se refere ao modo pelo qual o emprego destes meios ampliará a capacidade de Mobilidade da Força Aérea Brasileira (FAB). Em seguida, é ressaltado o fato de que o desenvolvimento desta tecnologia aplicado ao setor espacial promoverá ganhos de conhecimento estratégico essenciais à FAB. Por fim, é ratificada a necessidade do desenvolvimento dos microrreatores o quanto antes, de maneira a aproveitar mais efetivamente a ampliação das capacidades da FAB nas diversas missões em que atua, ou que poderá vir a executar, dada a importante vantagem competitiva alcançada, além da redução de seus futuros custos e fortalecimento de sua imagem.

**Palavras-chave:** Energia nuclear. Microrreatores. Mobilidade. Conhecimento estratégico.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o final da Segunda Guerra Mundial, o número de usinas nucleares tem crescido cada vez mais no mundo, motivado pela escassez de outros meios de geração de energia, em países como o Japão, ou pelo efetivo domínio de tecnologia estratégica, como nos EUA, Rússia e China. Durante o período do regime militar, o Brasil também envidou grandes esforços no sentido de adquirir este conhecimento, o que culminou com a construção das usinas Angra 1 e Angra 2. Conforme a Eletrobrás Termonuclear (2020), estas são responsáveis pela produção de 640 e 1350 MW de potência, respectivamente, valores estes suficientes para abastecer cidades com um milhão de habitantes, a exemplo de São Luís, e dois milhões de habitantes, como Belo Horizonte.

Os maiores atrativos da energia nuclear referem-se ao fato desta ser “limpa”, ou seja, emitir uma quantidade de carbono nula ou muito baixa à atmosfera, e deter uma alta densidade energética, o que significa que possui capacidade para gerar bastante energia a partir de pequenas massas e, conseqüentemente, ocupar menores espaços. Segundo dados da Strata (2017), instituição norte-americana não-governamental dedicada ao meio-ambiente, uma usina nuclear capaz de gerar 1 MW ocuparia um espaço de 5,14 hectares, ao passo que uma termoelétrica com tal capacidade ocuparia 4,94 hectares, plantas solares fotovoltaicas 17,60 hectares, um parque eólico 28,59 hectares e uma hidroelétrica 127,57 hectares. Vale ressaltar que apesar de uma termoelétrica ocupar um espaço ligeiramente inferior em relação a uma usina nuclear, ela está longe de produzir energia limpa.

Entretanto, há atualmente uma crescente demanda pelo desenvolvimento de reatores diferenciados pelo fato de serem bem menores, os microrreatores, conceito que explora ao máximo sua elevada densidade energética. Dentre as vantagens alcançadas com este conceito, destacam-se os custos de capital inicial consideravelmente reduzidos, o que facilitaria a atração dos investimentos necessários, bem como a possibilidade de operar a partir de locais remotos ou com baixa demanda energética, tais como vilarejos ou pontos estratégicos da selva amazônica.

Nesse contexto, o presente ensaio visa demonstrar que o Comando da Aeronáutica (COMAER) deve promover o desenvolvimento dos referidos

microrreatores nucleares em suas instituições de Pesquisa e Desenvolvimento, a fim de conseguir importantes benefícios estratégicos.

De modo a fundamentar esta tese, dois argumentos foram explorados. O primeiro evidencia como o emprego destes meios ampliará a capacidade de mobilidade da Força Aérea Brasileira (FAB). Para isso, algumas das principais características dos microrreatores foram comparadas com as alternativas atualmente utilizadas, evidenciando seus benefícios.

O segundo argumento foca no fato de que o desenvolvimento desta tecnologia aplicado ao setor espacial promoverá ganhos de conhecimento estratégico essenciais à FAB. Dessa maneira, as diversas formas pelas quais este conhecimento favorecerá o COMAER e o país como um todo foram elencados.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Microrreatores nucleares e o ganho de mobilidade**

Há diversos projetos sendo desenvolvidos mundialmente cujo foco é reduzir as dimensões dos microrreatores. Desta forma, eles estariam melhor aptos a complementar a rede de distribuição de eletricidade, ou simplesmente operar fora dela, em localidades com baixas necessidades energéticas e a custos sensivelmente inferiores comparados a um reator comum. Outros requisitos muito exigidos são sua fácil transportabilidade e a possibilidade de serem combinados entre si para maior geração de energia (PEAKMAN, 2018).

Conforme relatado por Zohuri (2020), o próprio Departamento de Defesa norte-americano (DoD) estabeleceu um programa de desenvolvimento e distribuição de reatores com tais características. Esta iniciativa ilustra o crescente interesse por este conceito no cenário mundial, e a importância não apenas de deter esta tecnologia, mas de dominá-la antes de seus concorrentes.

No que concerne ao COMAER, sabe-se que um dos Fatores de Força do Poder Aeroespacial, conforme a Doutrina Básica da FAB (BRASIL, 2012), é a Mobilidade, ou seja, capacidade do pessoal, armamentos, aeronaves e sistemas de se desdobrarem para operar de outra localidade. O emprego de microrreatores nucleares por uma Organização Militar como o Primeiro Grupo de Comunicações e Controle (1º GCC), cuja missão é operar e manter os equipamentos

aerotransportáveis de Controle e Alarme Aéreo no teatro de operações, em locais desprovidos destes meios, contribuiria para uma considerável ampliação da Mobilidade dos Meios de Força Aérea.

Ao serem levadas em consideração as dificuldades inerentes do transporte e manuseio de geradores à diesel, um microrreator análogo ao proposto por Mencarini (2020) oferece algumas vantagens. Enquanto os geradores sozinhos podem pesar acima de 1 tonelada, e cada um dos tambores de diesel necessários mais 200 kg, o microrreator possui massa da ordem de 200 kg e volume significativamente reduzido em relação aos geradores, além de já possuir combustível suficiente para 15 anos de operação ininterrupta.

Essas diferenças evidenciam como a troca entre estes equipamentos agilizaria o processo de instalação, inclusive em locais anteriormente impraticáveis, em virtude da diminuição das dimensões em comparação aos geradores e tambores citados. O processo de embarque e desembarque nas diversas aeronaves de carga da FAB, a exemplo do C-130 Hércules, também seria bastante facilitado.

Adicionalmente, o COMAER terá a possibilidade de atuar em uma variedade de novos cenários, uma vez que será possível gerar energia em qualquer ambiente, sob quaisquer condições. Tamanha versatilidade atenderia a todas as eventuais necessidades energéticas em localidades inóspitas, tais como locais altamente montanhosos, áreas mais inacessíveis da selva amazônica, regiões submersas e ambientes espaciais (CLIQUE, 2011; GUIMARÃES, 2017; NASCIMENTO, 2011).

## **2.2 Microrreatores nucleares e seus ganhos com as aplicações espaciais**

Outro aspecto fundamental a ser considerado, diz respeito ao fato de que o desenvolvimento desta tecnologia proporcionará à FAB o domínio de conhecimento estratégico. Esta forma de conhecimento eleva o Brasil a um outro patamar no cenário mundial, tendo em vista as várias maneiras pelas quais ele pode se materializar.

De imediato, esta inovação aprimora a política do Estado, exatamente como vislumbrado durante o governo Geisel. Este entendia a questão nuclear como “um instrumento de qualificação internacional do país, diminuição das assimetrias de poder e da vulnerabilidade energética ao petróleo importado” (CARPES, 2006, p. 21).

Contudo, esta autoafirmação política do país propiciada pelo domínio da tecnologia nuclear é ainda mais contundente ao considerar suas possíveis aplicações espaciais. O emprego de microrreatores nucleares não possibilita apenas a simples ida ao espaço, mas fornece meios viáveis para a execução de missões além da órbita terrestre e de longa duração.

Considerando a tecnologia atual, empreendimentos dessa natureza só são possíveis ao utilizar energia nuclear, a qual pode fornecer energias térmica e elétrica suficientes para propulsão e operação de equipamentos essenciais à missão e às eventuais vidas humanas a bordo. Em contrapartida, energia química é impraticável para missões longas, dada a imensa quantidade de combustível a ser carregada, ao passo que painéis solares são dependentes da proximidade e incidência direta de luz solar, além de terem eficiência bem reduzida comparada às demais fontes (NASCIMENTO, 2011).

Na realidade, o uso da energia nuclear no ambiente espacial não é novidade, principalmente para os EUA e a extinta URSS, e tem ocorrido desde 1961, embora ela não tenha sido utilizada em missões tripuladas. No entanto, ao final da corrida espacial e após as intensas pressões sofridas pelo controle de gastos, estes reatores, que requeriam pesados investimentos para testes e desenvolvimentos, foram deixados de lado.

Como mencionado anteriormente, a inovação consiste no conceito do microrreator, que é uma solução de custo reduzido em um momento no qual as explorações espaciais voltaram a receber atenção de todo o mundo. Devido aos últimos avanços tecnológicos, tais missões se tornaram viáveis, o que despertou interesse por razões como turismo espacial, colonização ou até mineração. Esta viabilidade pode ser comprovada pelo envolvimento de empresas do setor privado como SpaceX, Virgin, Blue Origin e Planetary Resources, o que é inédito na História.

Dessa maneira, ao aliar o domínio da tecnologia nuclear com a capacidade de investigação do espaço, conhecimento estratégico de elevado valor será incorporado ao COMAER. Este seria capaz de se materializar na forma de diversos outros benefícios estratégicos, tais como: aquisição de conhecimentos científicos, acesso a materiais e posições estratégicos, desenvolvimento de novas tecnologias em ambiente extraterrestre e projeção de poder (MOURA, 2008).

Nessa conjuntura, um seleto grupo de países possuem ambiciosos projetos em fase avançada de desenvolvimento com esta tecnologia incorporada a seus

veículos espaciais. Levando isso em consideração, o COMAER deve se colocar nesse grupo estratégico, aproveitando-se do fato de que essa é uma tecnologia nova e ainda há tempo de posicionar o país entre os pioneiros de forma a obter as vantagens citadas.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Desde 1945, a exploração da energia nuclear é almejada por uma série de razões. Em geral, a mais evidente é sua elevada densidade energética, entretanto muitos países são atraídos pela possibilidade de reduzir suas emissões de carbono, complementar suas matrizes energéticas locais, ou por questões político-estratégicas de domínio de tecnologia sensível.

Todavia, nos últimos anos surgiu o conceito dos microrreatores nucleares. Estes são extremamente vantajosos no sentido de que possuem uma ampla variedade de aplicações, a custos muito mais acessíveis. Tamanha é a atratividade deles que uma série de projetos empregando esta ideia foram iniciados nas principais potências do mundo.

Neste contexto, foi defendida a tese de que o COMAER deve promover o desenvolvimento dos referidos microrreatores em suas instituições de Pesquisa e Desenvolvimento, a fim de conseguir importantes benefícios estratégicos. Ainda mais importante é que o referido projeto tenha sua continuidade garantida e chegue a um modelo real efetivamente construído.

Argumentou-se, inicialmente, como a aplicação desta tecnologia pelas várias organizações militares pode ampliar consideravelmente a Mobilidade dos Meios de Força Aérea. Essa vantagem é garantida pelas reduzidas dimensões e peso dos microrreatores, o que certamente traria vantagens relevantes em qualquer tipo de missão executada pela FAB.

Posteriormente, foi salientado como esta inovação aplicada ao setor espacial propiciará um substancial ganho de conhecimento estratégico, o qual teria potencial de colocar o Brasil em posição de destaque no cenário mundial. Tal conhecimento possibilitaria o cumprimento de uma variedade de novas missões e poderia materializar-se na forma de acesso a materiais e posições estratégicos e, ultimamente, projeção de poder.

Diante dos argumentos apresentados, ratifica-se a necessidade do desenvolvimento de microrreatores nucleares pelo COMAER. O quanto antes isso seja realizado, maior o aproveitamento da ampliação de suas capacidades nas diversas missões em que atua, ou que poderá vir a executar, dada a importante vantagem competitiva alcançada. Ressalta-se ainda a conseqüente redução de seus futuros custos e fortalecimento de sua imagem perante a sociedade brasileira, além de reforçar a importância atribuída ao país no exterior.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Portaria nº 278/GC3, de 21 de junho de 2012. Aprova a reedição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 121, f. 4394, 26 jun. 2012.
- CARPES, M. M. **Política nuclear brasileira no contexto das relações internacionais contemporâneas: domínio tecnológico como estratégia de inserção internacional**. 2006. 165f. Dissertação (Pós-graduação em Relações Internacionais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=9614@1>. Acesso em: 08 out. 2020.
- CLIQUE, E. *et al.* Study of space reactors for exploration missions. *In*: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 2013, Recife. **Anais [...]**. Vienna: INIS, 2013. Disponível em: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/45/107/45107386.pdf?r=1&r=1](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/107/45107386.pdf?r=1&r=1). Acesso em: 24 set. 2020.
- ELETROBRAS TERMONUCLEAR (Eletronuclear). **Nossas Atividades**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 05 out. 2020.
- GUIMARÃES, L. N. F. *et al.* TERRA Project: a Brazilian view for nuclear energy application to space exploration. *In*: NUCLEAR AND EMERGING TECHNOLOGIES FOR SPACE, 2017, Orlando. **Anais [...]**. La Grande Park, IL: ANS, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/315658469\\_TERRA\\_Project\\_a\\_Brazilian\\_View\\_for\\_Nuclear\\_Energy\\_Application\\_to\\_Space\\_Exploration](https://www.researchgate.net/publication/315658469_TERRA_Project_a_Brazilian_View_for_Nuclear_Energy_Application_to_Space_Exploration). Acesso em: 24 set. 2020.
- MENCARINI, L. H. **Mass and shielding optimization studies for a low enrichment Uranium fueled Kilowatt Space Nuclear Reactor**. 2020. 151f. Tese (Doutorado) – Colorado School of Mines, Golden, CO, 2020. Disponível em: [https://mountainscholar.org/bitstream/handle/11124/174062/Mencarini\\_mines\\_0052E\\_11896.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://mountainscholar.org/bitstream/handle/11124/174062/Mencarini_mines_0052E_11896.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 20 set. 2020.
- MOURA, C. A. T. M. O Programa Espacial Brasileiro: Novos horizontes com a Propulsão Nuclear Espacial. **Revista da Escola Superior de Guerra**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 49, p. 7-26, jun. 2008.
- NASCIMENTO, J. A. *et al.* Advanced micro-reactor for space and deep sea exploration: a scientific Brazilian vision. *In*: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 2011, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Vienna: INIS, 2011. Disponível em: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/43/050/43050820.pdf?r=1&r=1](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/050/43050820.pdf?r=1&r=1). Acesso em: 24 set. 2020.
- PEAKMAN, A.; HODGSON, Z.; MERK, B. Advanced micro-reactor concepts. **Progress in Nuclear Energy**, Amsterdam, v. 107, n. 1, p. 61-70, 2018.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0149197018300477>. Acesso em: 24 set. 2020.

STRATA. **The footprint of energy**: land use of U. S. electricity production. Atlanta, 2017. Disponível em: <https://www.strata.org/pdf/2017/footprints-full.pdf>. Acesso em: 06 out. 2020.

ZOHURI, B. Nuclear micro reactor research, development, and deployment. *In*: ZOHURI, B. **Nuclear Micro Reactors**. Cham: Springer, 2020. p. 99-118.