

VISÃO GERAL: BASE LANÇADORA DA COBRUF

Elder Samuel Taveira da Silva ¹, elder-samuelts@hotmail.com

Patrícia Lima de Sousa ², lspatricia7@gmail.com

Calvin Souto Trubiene ³, ctrubas@hotmail.com

Emersson David Costa Claro do Nascimento ³, emersson11@gmail.com

Daniel Sampaio Santos Moreira ⁴, danielssmbr@gmail.com

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova, Natal, RN, Brasil. CEP: 59078-970. Caixa Postal: 1524.

² Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, Avenida Lourenço Vieira da Silva, nº 1000, Bairro Jardim São Cristóvão, São Luís, MA, Brasil. CEP: 65055-310.

³ Universidade Federal do ABC, Campus Santo André, Avenida dos Estados, nº 5001, Bairro Santa Terezinha, Santo André, SP, Brasil. CEP: 09210-580.

⁴ Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama – FGA, Área Especial de Indústria Projeção A, Setor Leste, Gama, CEP: 72.444.240

Resumo: Há um crescente interesse do mercado espacial internacional em popularizar o acesso ao espaço e à missões de exploração do Sistema Solar. Para encontrar este desafio, a Associação COBRUF concebeu a Cooperação Tecnológica Nacional da COBRUF (CTNC): uma iniciativa da Associação COBRUF que integra estudantes e profissionais das mais renomadas instituições para desenvolvimento de tecnologias educacionais de exploração espacial pacífica. Em 2017, a Cooperação teve como um de seus principais projetos o desenvolvimento e operação interuniversitários da Base Lançadora da COBRUF (BLC), uma robusta e segura plataforma multiuso e open-source para lançamento de foguetes experimentais educacionais, de até 150 kg e 10 kN de empuxo médio. A operação da BLC ocorreu com sucesso no dia 30 de Setembro de 2017, concomitante à Competição Brasileira Universitária de Foguetes (CobruF Rockets), no Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), cumprindo requisitos profissionais de lançamento em duas missões distintas. Como resultado, a BLC foi qualificada em TRL 7, segundo padrões da COBRUF. Este projeto foi realizado conjuntamente por estudantes de grupos aeroespaciais universitários da UnB (Capital Rocket Team), UFRN (Potiguar Rocket Design), UEMA (Carará Rocket Design), UFC (Grupo de Desenvolvimento Aeroespacial - GDAe), UFJF (Supernova Rocketry) e UFPEL (UFPEL Rocket Team), coordenados pela Associação COBRUF. O presente artigo se propõe a apresentar uma visão geral do contexto, concepção, simulações estruturais, construção e operação da Base Lançadora da COBRUF.

Palavras-chave: Base de Lançamento, Cooperação Tecnológica Nacional COBRUF, Foguete, CLBI.

1. INTRODUÇÃO

Mais do que propelentes, motores e espaçonaves, a peça fundamental para a exploração espacial são as pessoas com seus esforços e sacrifícios pela conquista do extraordinário. O protagonismo do Brasil na maior aventura da história da humanidade depende da democratização do Programa Espacial Brasileiro, que deve ser acessível a talentos de diversas regiões do país e deve ensinar os métodos mais avançados de desenvolvimento de missões espaciais aos estudantes de ciências, tecnologias, engenharias e matemática.

Com esse intuito, a Associação COBRUF coordenou 16 grupos aeroespaciais universitários, unidos, na maior cooperação tecnológica aeroespacial e universitária da história do Brasil: A Cooperação Tecnológica Nacional da COBRUF (CTNC). Esta cooperação desenvolveu a Base Lançadora da COBRUF (BLC) e o Foguete-Padrão 2 da COBRUF (FP2): duas tecnologias educacionais críticas para a democratização do setor espacial brasileiro, que visam criar referências para equipes nacionais e internacionais de foguetemodélismo universitário de alta potência.

Não há precedentes, na história do Programa Espacial Brasileiro, para um projeto tecnológico educacional desta natureza e escala. A Base Lançadora da COBRUF e o Foguete-Padrão 2 da COBRUF foram desenvolvidos, conforme diversas técnicas profissionais adotadas pelos maiores centros aeroespaciais do mundo, como a NASA, a ESA, o CTA e a SpaceX.

Uma vez que suas tecnologias forem devidamente aperfeiçoadas e consideradas em grau de maturidade apropriado, a Associação COBRUF disponibilizará seus projetos e know-how para todas as equipes participantes das edições de sua competição de foguetes avançados: a CobruF Rockets (COBRUF, 2017). Esta transferência tecnológica terá como principal objetivo possibilitar que ambas as tecnologias sejam facilmente absorvidas e replicadas pelos grupos aeroespaciais universitários.

Com isso, espera-se que todos os grupos de foguetemodélismo universitário de alta potência no Brasil, incluindo tanto os mais experientes, quanto os recém-criados, possam aprender como desenvolver sistemas avançados aeroespaciais nos moldes do mercado espacial internacional—mas de forma acessível—e, a partir daí, possam adaptar e superar estes ensinamentos, desenvolvendo tecnologias próprias ainda mais avançadas.

O presente trabalho visa apresentar uma visão geral do desenvolvimento conjunto da BLC - executado pela cooperação de 6 dos 16 grupos cooperadores: UNB (Capital Rocket Team), UFRN (Potiguar Rocket Design), UEMA (Carcará Rocket Design), UFC (Grupo de Desenvolvimento Aeroespacial - GD Ae), UFJF (Supernova Rocketry) e UFPEL (UFPEL Rocket Team), coordenados pela Associação COBRUF - e seus resultados em 2017, que tiveram como objetivo primário contribuir na profissionalização dos grupos cooperadores envolvidos.

2. METODOLOGIA

2.1. Planejamento

O planejamento do projeto da Base Lançadora da COBRUF teve como fundamento a ferramenta de gestão de tecnologia denominada *Technology Readiness Levels*, ou TRL (em português, “Níveis de Maturidade Tecnológica”), desenvolvido por Stan Sadin, na sede da NASA, em 1974 (com descrição finalizada em 1989). A TRL consiste em uma metodologia para esquematizar as fases de maturação de uma tecnologia particular, desde sua produção conceitual até sua produção final, a partir de uma série de parâmetros de maturação pré-definidos em uma escala de nove níveis de prontidão, considerando a TRL 1 a de nível mais baixo - voltado à observação de princípios básicos do sistema -, e a TRL 9 a de nível mais elevado - na qual o sistema é, finalmente, utilizado para a operação final a que se destina [HUETER et al, 2010; DOE, 2011; DOE, 2013; DOD, 2013; ISO, 2013; NASA, 2013; NASA, 2015; BANKE, 2017].

Nestas etapas, a tecnologia passa por uma série de simulações computacionais, por um projeto de prova-de-conceito e prototipagem, além de vários testes de validação e de demonstração tecnológica e operacional.

Dois dos principais desafios da Cooperação Tecnológica COBRUF eram a adaptação desta ferramenta ao processo de maturação da BLC e a familiarização dos grupos cooperadores de todo o país com esta metodologia. Para tanto, assim como em projetos desenvolvidos pelos maiores centros aeroespaciais do mundo, as TRLs aplicadas ao projeto da BLC foram divididas em nove fases, cada uma com prazos de realização definidos e com suas respectivas especificações para certificar o avanço no projeto.

Concomitante à aplicação das TRLs, aplicou-se também técnicas de engenharia de sistemas para revisão de ciclo de vida de projeto, alinhando ambos os métodos com foco no aprendizado dos grupos cooperadores. Um exemplo pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Alinhamento de TRL com Técnicas de Revisão de Projeto

Technology Readiness Level	Design Reviews
3	CoDR, MDR, SRR, SDR, PDR, PRR e TRR
4	PDR, PRR e TRR
5	PDR, PRR e TRR
6	PDR, PRR e TRR
7	CDR, SAR, PR, TRR, TO e ORR
8	PRR, TRR, TO e ORR
9	TO, ORR, FRR

Onde *MDR*: *Mission Definition Review* (Revisão da Definição de Missão), *SRR*: *Systems Requirements Review* (Revisão dos Requisitos de Sistemas), *CoDR*: *Conceptual Design Review* (Revisão do Projeto Conceitual), *SDR*: *Systems Design Review* (Revisão do Projeto de Sistemas), *PDR*: *Preliminary Design Review* (Revisão Preliminar de Projeto), *PRR*: *Production Readiness Review* (Revisão de Prontidão para Produção), *TRR*: *Test Readiness Review* (Revisão de Prontidão de Testes), *SAR*: *Systems Acceptance Review* (Revisão de Aceitação de Sistemas), *ORR*: *Operational Readiness Review* (Revisão de Prontidão Operacional), *FRR*: *Flight Readiness Review* (Revisão de Prontidão de Voo), TO: Treinamento Operacional.

2.2. Análise Mecânica

Foi utilizada a plataforma Solidworks 2014 (DASSAULT SYSTÈMES, 2014) para desenvolvimento da Base de Lançamento. A Figura 1 mostra os três sistemas principais que foram projetados.

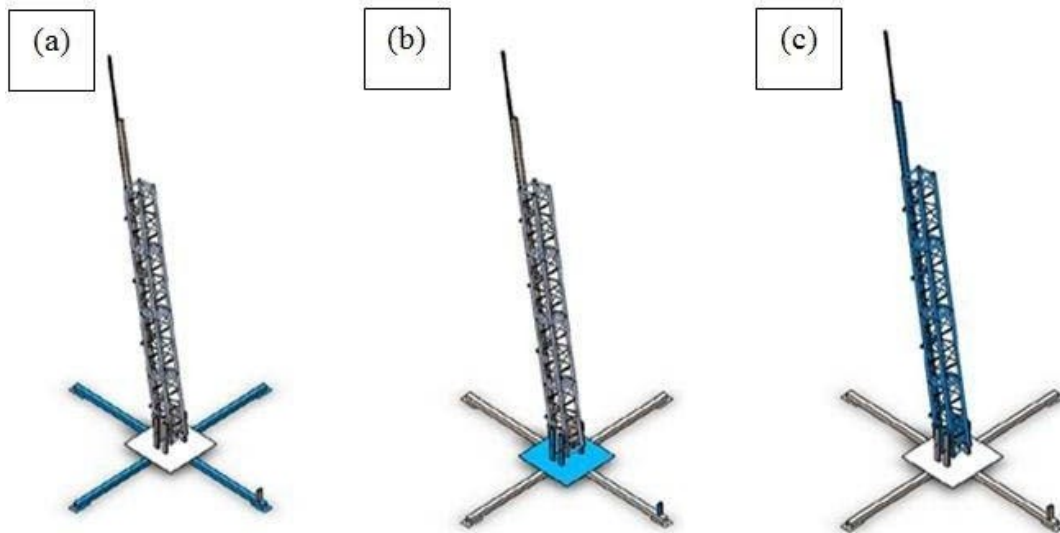


Figura 1 - CAD desenvolvido pelas equipes da BLC. (a) Sistema de Pernas; (b) Sistema de Elevação; (c) Sistema de Trilho.

O projeto teve, como uma de suas principais condições de contorno, exigências operacionais para lançamento de foguetes experimentais no Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI, 2008). Consonantemente, a massa total do foguete e o ângulo de elevação da base foram pontos de maior atenção do projeto da BLC. Assim, seu projeto considerou uma elevação de 80° , em conformidade com exigências de segurança do Centro. O sistema de elevação tem papel crucial na definição se o projeto é seguro e resistente, haja vista que é o ponto de fixação do sistema de trilho.

O projeto da BLC foi concebido com a premissa do lançamento de foguetes experimentais com velocidades de saída do lançador no limiar com relação ao vento de superfície. Desta forma, um trilho de seis metros foi projetado para maximizar o tempo do foguete acelerando na BLC. Em geral, para foguetemodelismo, os foguetes experimentais com velocidades maiores que quatro vezes a velocidade do vento de superfície sofrem menos instabilidades no voo.

A massa total do sistema de trilhos foi estimada em 80 kg. Para uma margem de segurança com critérios internacionais, foi utilizado um fator igual a dois (MODLIN & ZIPAY, 2014) para testes de esforços estruturais. Portanto, para um foguete com 150 kg de massa total somado à massa do sistema de trilhos para uma margem de segurança dois, foi utilizado um valor de 460 kg.

Através do módulo de elementos finitos do software utilizado, o sistema de elevação foi verificado e analisado para as premissas iniciais. A característica da malha utilizada foi composta por 762 elementos triangulares com *skewness* de 0,42. A força aplicada na vertical para baixo é a situação de maior esforço para cada pino de aço maciço de 0,02 metros de diâmetro em relação ao conjunto sistema de trilhos e lançador.

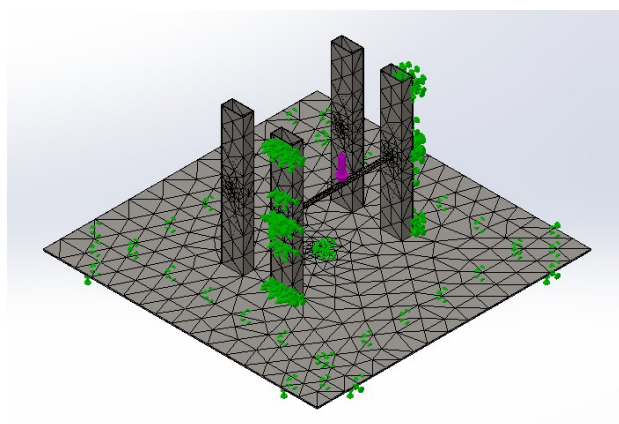


Figura 2 - Malha configurada para a análise de elementos finitos com as condições iniciais da simulação estática.

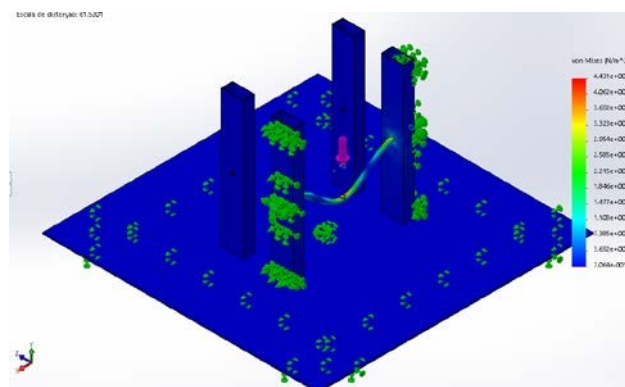


Figura 3 - Visão isométrica do resultado com exagero configurado para visualização da deformação do pino.

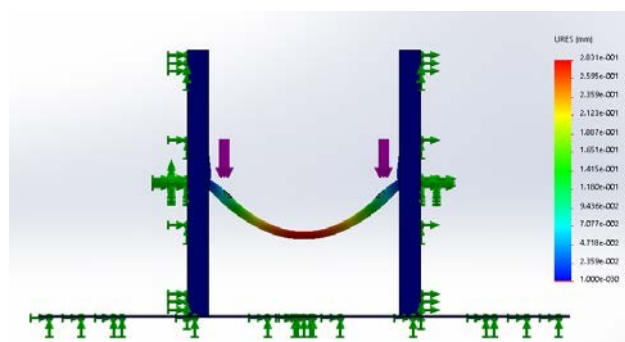


Figura 4 - Visão frontal do resultado com exagero configurado para visualização da deformação do pino.

Considerando-se a distribuição de forças apenas em um dos pinos, caso mais extremo das condições iniciais, obteve-se deformação máxima de 2,82 mm. Assim, foi verificado que o sistema com dois pinos de aço maciço aumentaria aos esforços estruturais do conjunto sistema de trilhos e lançador.

2.3. Investimento de produção

Tendo em vista a produção por estudantes e equipes de pesquisa universitária, a aquisição de materiais se deu de forma econômica e solidária. O projeto da BLC também já ponderou complexidade logística de transporte, primando por modularidade e peças de fácil integração e locomoção. A lista de materiais para fabricação completa da BLC totalizou R\$ 2.680,77, não contabilizando doações, e é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Materiais base para a construção da BLC

Peça	Sistema	Valor Total
4 metros de treliça quadrada de alumínio de 0,35 por 0,35 m	Trilho	R\$ 1.500,00
6 metros de perfil de alumínio estrutural 1515	Trilho	R\$ 500,00
5 metros de tubo retangular de aço 80x40x1,5 mm	Trilho	R\$ 99,67
8 metros de tubo quadrado de aço 80x80x2 mm	Perna	R\$ 169,88
2 metros de tubo retangular de aço 80x40x1,5 mm	Trilho	R\$ 39,87
1 chapa de aço de 1 metro quadrado com 5 mm de espessura	Base	R\$ 257,35
2 barras redondas de 0,02 m de diâmetro e 0,5 m de comprimento	Base	R\$ 114,00
4 chapas de aço de 16x35x1,5 mm	Perna	Doação
Parafusos diversos	Todos	Doação

3. RESULTADOS

A Base Lançadora foi projetada de tal forma que ela atendesse dois ângulos de elevação, o de 0° para que fosse instalado o foguete, permitindo realização de testes finais e checagem, e o ângulo de 80° para lançamento, conforme exigido por requisitos de segurança para foguetes experimentais do CLBI (CLBI, 2008). A montagem da BLC foi realizada pelos participantes da Cooperação Tecnológica.



Figura 5 - BLC na horizontal para preparação do lançamento.

Ainda foram utilizadas cintas para aumentar a segurança de todo o sistema, dando mais estabilidade para o lançamento. Sacolas massivas de areia foram distribuídas para reforçar a segurança.

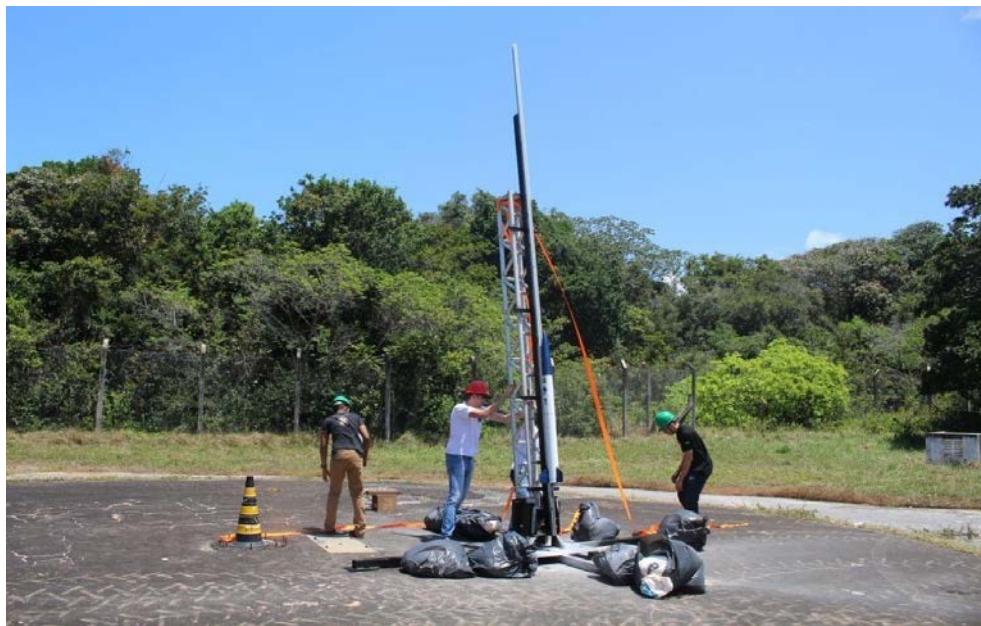


Figura 6 – BLC na posição de lançamento.



Figura 7 - Foguete Imperius, desenvolvido pela equipe Minerva-Jupiter para a Cobruf Rockets, sendo lançado a partir da BLC, durante o evento.



Figura 8 - Foguete-Padrão 2 da COBRUF, desenvolvido conjuntamente por 10 grupos cooperadores da COBRUF por meio da CTNC, sendo lançado a partir da BLC, durante o evento.

A BLC foi operada com sucesso em duas missões distintas no Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, durante a Cobruf Rockets 2017. Com isso, foi qualificada em TRL 7, segundo requisitos da COBRUF.

4. CONCLUSÕES

A construção da BLC pelos grupos cooperadores da COBRUF seguiu os parâmetros estabelecidos pelo modelo em CAD e pelo planejamento em TRL.

O resultado do processo foi a instalação da Base com sucesso na área de lançamento do CLBI, atendendo requisitos de segurança estipulados pelo Centro de Lançamento profissional. O desenvolvimento da Base de Lançamento proporcionou às equipes de vários estados a trabalharem juntas em um acordo de Cooperação Tecnológica Nacional, integrando os conhecimentos de engenharia para contribuir com expansão do interesse pelo desenvolvimento de pesquisas no setor aeroespacial proposto pela COBRUF.

5. REFERÊNCIAS

- BANKE, Jim. Technology Readiness Levels Demystified. NASA. Estados Unidos, 2017.
- CLBI. Manual de Segurança do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno. 2008. COMAER, CTA, CLBI. Man-SQG-001.
- COBRUF. Brasileiros fazem história em centro espacial | O LEGADO DA COBRUF 2017. 2017. Disponível em: <https://goo.gl/cefPkD>. Último acesso em 10/04/2018.
- DOD. Systems Engineering Fundamentals. 2013. ISBN-10: 1484120833
- DOE. Technology Readiness Assessment Guide. 2011. Office of Management. DOE G 413.3-4A.
- DOE. Technology Readiness Assessment (TRA) / Technology Maturation Plan (TMP): Process Implementation Guide. 2013. Revision 1. Office of Environmental Management
- KOHLI, R., FISHMAN, J., HYATT, M. (2012). Decision Gate Process for Assessment of a Technology Development Portfolio. AIAA SPACE 2012 Conference & Exposition, AIAA SPACE Forum.
- ISO. (2013). ISO 16290:2013 - Space systems -- Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment. STANDARD. First edition. 2013-11-01. Reference number. ISO 16290:2013(E).
- MODLIN, C. T., ZIPAY, J.J., Ultimate Factors of Safety for Aircraft & Spacecraft – History, Definition and Applications. NASA. Estados Unidos, 2014.
- NASA. NASA Systems Engineering Processes and Requirements, Appendix G. 2013. NPR 7123.1B.
- NASA. TA 11: Modeling, Simulation, Information Technology, and Processing. 2015 NASA Technology Roadmaps.
- NASCIMENTO, E.D.D.C, TRUBIENE, C.S., BLC Systems Engineering. Relatório Técnico Interno. 2017.
- OKNINSKIA, A. et al, Development of the Polish Small Sounding Rocket Program. Acta Astronautica, Volume 108, March–April 2015, Pages 46-56. DOI 10.1016/j.actaastro.2014.12.001.
- DASSAULT SYSTÈMES. SolidWorks 2014. Versão 24.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Associação COBRUF, na qual, através da proposta de cooperação entre diversos grupos aeroespaciais universitários brasileiros, propiciou a realização de uma cooperação que favorece o cenário atual desenvolvimento do setor aeroespacial no país. Agradecimentos ao CLBI pela pioneira parceria com a Associação COBRUF, por sediar o evento Cobruf Rockets em suas instalações e pelo apoio durante as atividades. Agradecimentos, também a colaboradores do projeto, em especial aos Gerentes de Sistemas Avançados e Integração (Lucas Matheus dos Passos Gomes, da equipe Carcará Rocket Design - UEMA; Renan Capistrano Vieira, da equipe GDAe - UFC e Victor Eduardo Borges Rodrigues, da equipe Potiguar Rocket Design - UFRN), ao Gerente de Planejamento Estratégico Tecnológico (Antônio Mateus Azevedo, da equipe GDAe - UFC), e às demais equipes cooperadoras (Supernova Rocketry, da UFJF, e UFPel Rocket Team, da UFPel) que trabalharam no desenvolvimento da Base de Lançamento. Agradecimentos também aos demais estudantes de cada equipe mencionada, que contribuíram com o desenvolvimento e montagem da base e participaram de cada etapa do projeto com muita dedicação e pioneirismo.

OVERVIEW: COBRUF LAUNCH PAD

Elder Samuel Taveira da Silva ¹, elder-samuelts@hotmail.com

Patrícia Lima de Sousa ², lspatricia7@gmail.com

Calvin Souto Trubiene ³, ctrubas@hotmail.com

Emersson David Costa Claro do Nascimento ³, emersson11@gmail.com

Daniel Sampaio Santos Moreira ⁴, danielssmbr@gmail.com

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova, Natal, RN, Brasil. CEP: 59078-970. Caixa Postal: 1524.

² Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, Avenida Lourenço Vieira da Silva, nº 1000, Bairro Jardim São Cristóvão, São Luís, MA, Brasil. CEP: 65055-310.

³ Universidade Federal do ABC, Campus Santo André, Avenida dos Estados, nº 5001, Bairro Santa Terezinha Santo André, SP, Brasil. CEP: 09210-580.

⁴ Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama – FGA, Área Especial de Indústria Projeção A, Setor Leste, Gama, CEP: 72444-240

Abstract: *There is a growing interest in the international space market in popularizing access to space and the exploration missions of the Solar System. To meet this challenge, the COBRUF Association conceived the COBRUF National Technological Cooperation (CTNC): a COBRUF initiative that integrates students and professionals from the most renowned institutions for the development of educational technologies for peaceful space exploration. In 2017, one of the Cooperation main projects was the interuniversity development and operation of the COBRUF Launch Pad (BLC), a robust and secure multipurpose and open-source platform for launching experimental educational rockets of up to 150 kg and 10 kN of average thrust. The BLC operation was successful on September 30, 2017, concomitantly with the Brazilian University Rocket Competition (COBRUF Rockets), at the Barreira do Inferno Launch Center (CLBI), fulfilling professional launch requirements in two different missions. As a result, the BLC was qualified in TRL 7, according to COBRUF standards. This project was jointly developed by university aerospace groups students of UnB (Capital Rocket Team), UFRN (Potiguar Rocket Design), UEMA (Carará Rocket Design), UFC (Grupo de Desenvolvimento Aeroespacial - GD Ae), UFJF (Supernova Rocketry) and UFPEL (UFPel Rocket Team), coordinated by the COBRUF Association. This article presents an overview of the context, design, structural simulations, construction and operation of the COBRUF Launch Pad.*

Keywords: *Launch Pad, COBRUF National Technological Cooperation, Rocket, CLBI.*