

Revista da

**UNiFA**

UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA v. 31 n. 1 janeiro/junho 2018  
**Uma Visão do Poder Aeroespacial**

e-ISSN 2175-2567



# CORPO EDITORIAL



## Revista da UNIFA Publicação Semestral v. 31 n. 1 Janeiro/Junho 2018

### Reitor da UNIFA

Maj Brig Ar José Isaías Augusto de Carvalho Neto

### Vice-Reitor da UNIFA

Brig Int R1 Luiz Tirre Freire

### Editor-Chefe

Cel Av R1 Marcos Jorge Alves Gemaque

### Editor-Adjunto

Prof. Dr. Bruno de Melo Oliveira

### Editores-Assistentes

1º Ten BIB Cíntia Sales de Sousa

1º Ten PED Jaqueline Maria Pereira Fulgêncio

1º Ten BIB Cíntia Carneiro Marinho

2º Ten BIB Adriana Maria dos Santos

### Comitê de Ética Institucional

Vice-Reitor Acadêmico

Coordenador de Ensino da UNIFA

Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa

Pró-Reitor de Apoio à Pesquisa

Pró-Reitor de Extensão e Cooperação

Pró-Reitor de Estudos Especializados e Idiomas

Chefe do Centro de Educação à Distância

Chefe do Centro de Estudos Avançados

Oficiais Superiores da Vice-Reitoria Acadêmica da UNIFA

Comandante da ECEMAR

Presidente da CDA

Vice-Presidente da CDA

Comandante da EAOAR

### Conselho Editorial Científico

Andréa Fabiana de Lira - UFBA - BA

Claudio Rodrigues Corrêa - EGN - RJ

Erico Duarte - UFRGS - RS

Fabio Walter - UFRP - PB

Fernando de Souza Costa - INPE - SP

Flavio Neri Jasper - SEFA - DF

Francisco Eduardo Alves de Almeida - EGN - RJ

Guilherme Sandoval Góes - ESG - RJ

João Roberto Martins Filho - UFSCar - SP

Koshun Iha - ITA - SP

Lamartine Nogueira Frutuoso Guimarães - IEAv - SP

Marco Antonio Sala Minucci - IEAv - SP

Marcos Jorge Alves Gemaque - UNIFA - RJ

Thais Russomano - PUC - RS - RS

Vantuil Pereira - UFRJ - RJ

### Revisão Técnica

1º Ten MSS Maristani Cristina Girotti Americo - AFA - SP

1º Ten MIS Eliane Maria Heanna Machado Matioli - AFA - SP

1º Ten BIB Cíntia Sales de Sousa - UNIFA - RJ

1º Ten BIB Cíntia Carneiro Marinho - UNIFA - RJ

1º Ten SVA Dejair Fernandes Junior - CDA - RJ

2º Ten BIB Adriana Maria dos Santos - UNIFA - RJ

2º Ten MSS Ana Carolina Aparecida Marques Soarez - AFA - SP

Prof.ª Catarina Labouré Madeira Barreto Ferreira - UNIFA - RJ

Prof.ª Dr.ª Cláudia Maria Souza Antunes - UNIFA - RJ

Prof.ª Dr.ª Elaine Risques Faria - AFA - SP

Prof.ª Maria Cláudia de J. Machado - AFA - SP

Prof. Rodrigo Tostes Geoffroy - AFA - SP

### Editoria Científica

SO R1 Ronaldo de Paula Malheiros

SO R1 Roberto Fernandes Ferreira

### Equipe de Edição

Diagramação

SO SDE Samuel Gonçalves Mastrange

CB SGS Lessandro Augusto da Silva Queluci

Secretaria

SO R1 Sílvio Gomes de Oliveira

Desenvolvimento WEB

2S SAD Diego Sodré Ribeiro

3S SIN Victor Willian Aguiar dos Santos

### Impressão

UNIFA

### Tiragem

1000 exemplares

### Distribuição

Gratuita



### Nossa capa

Fotografia da SO SAD R1 Márcia Idalina de Oliveira Miguez: "Um novo olhar sobre a UNIFA".

Escada do saguão principal do prédio do Comando da UNIFA.

# REVISTA DA UNIFA

Uma Visão do Poder Aeroespacial

v. 31 n. 1 janeiro/junho 2018

Rio de Janeiro - RJ

Revista da UNIFA	Rio de Janeiro	v. 31	n. 1	p. 01 - 148	jan./jun. 2018
------------------	----------------	-------	------	-------------	----------------

Os textos publicados na revista são de inteira responsabilidade de seus autores.

*The authors assume full responsibility for the texts published in the journal.*

*Los textos publicados en la revista son de entera responsabilidad de sus autores.*

Indexado em / indexed in / indexado en:   

Classificado no / classified at the / clasificado en: **WebQualis da CAPES / CAPES WebQualis / WebQualis de la CAPES**

Disponível em / Available in / Disponible en: 

Licenciada / Licensed / con licencia: 

Revista da UNIFA / Universidade da Força Aérea. – Ano 1, n. 1 (23 out.1985)-ano 20, n. 23 (nov. 2008); [nova sér.], v. 22, n. 24 (jan./jun. 2009)-v. 28, n. 37 (dez. 2015); [nova sér.], v. 29, n. 2 (dez. 2016)- . – Rio de Janeiro : Universidade da Força Aérea, 1985- .

Semestral.

A partir de janeiro/junho 2009 numerado como volume.

A partir de janeiro/junho 2016 a numeração dos fascículos recomeça a cada ano com n. 1 e a numeração dos volumes mantém a sequência do ano anterior.

ISSN 1677-4558.

e-ISSN 2175-2567.

Distribuição gratuita.

1. Força Aérea Brasil - periódicos. 2. Aeronáutica - Brasil. 3. Poder aeroespacial. I. Universidade da Força Aérea.

CDU: 355.354(81)(05)

2018

Impresso no Brasil

*Printed in Brazil*

*Impreso en Brasil*

Distribuição gratuita

free distribution

distribución gratuita

<b>Editorial</b> .....	4
<i>Editorial</i> .....	5
<i>Editorial</i> .....	6

## ARTIGOS / ARTICLES / ARTÍCULOS

### ORIGINAL / ORIGINAL / ORIGINAL

<b>Desenvolvimento de uma Câmara de Hipóxia Normobárica para Estudos em Fisiologia Humana</b> .....	7
<i>Alignment of the Strategic Program of Space Systems (PESE) with the National Defense Strategy (END)</i> .....	20
<i>Alineación del Programa Estratégico de Sistemas Espaciales (PESE) con la Estrategia Nacional de Defensa (END)</i> .....	33

Endrigo Rosa de Carvalho, Leandro Disiuta, Eloy Vicente De La Barra Velasquez, Júlio Cesar Marques de Lima e Thais Russomano

<b>Projeto VANT: desenvolvimento de um teste para elaboração de uma bomba teleguiada por GPS no Clube de Guerra Eletrônica da Academia da Força Aérea</b> .....	46
<i>UAV Project: development of a test for the elaboration of a GPS-guided bomb in the Electronic Warfare Club of the Air Force Academy</i> .....	56
<i>Proyecto VANT: desarrollo de una prueba para elaborar una bomba teleguiada por GPS en el Club de Guerra Electrónica de la Academia de la Fuerza Aérea</i> .....	66

Lucas Luiz de Ávila, Bruno Eduardo Teixeira, Simon Skarabone Rodrigues Chiacchio e Adriano Rogério Bruno Tech

### REVISÃO / REVIEW/ REVISIÓN

<b>O impacto da adoção do Relatório Final Simplificado (RFS) nos processos investigativos de ocorrências aeronáuticas da aviação militar, conduzidos pelo CENIPA</b> .....	76
<i>The impact of the application of the Simplified Final Report (SFR) on the investigative processes of aeronautical occurrences of military aviation carried out by CENIPA</i> .....	87
<i>El impacto de la adopción del Informe Final Simplificado (RFS) en los procesos investigativos de sucesos aeronáuticos de la aviación militar, conducidos por el CENIPA</i> .....	98

Thiago Alexandre Lirio

### ATUALIZAÇÃO / UPDATE / ACTUALIZACIÓN

<b>Competências do piloto de caça da Força Aérea Brasileira para operar sistemas de Guerra Eletrônica da aeronave Gripen-NG: uma visão prospectiva</b> .....	109
<i>Competencies of the Brazilian Air Force fighter pilot to operate Electronic Warfare systems of the Gripen-NG aircraft: a prospective view</i> .....	122
<i>Competencias del piloto de caza de la Fuerza Aérea Brasileña para operar sistemas de Guerra Electrónica de la aeronave Gripen-NG: una visión prospectiva</i> .....	135

Felipe Luis de Oliveira Vilela

<b>ORIENTAÇÕES PARA SUBMISSÃO / ORIENTATIONS FOR SUBMISSION / ORIENTACIONES PARA SUBMISIÓN</b> .....	148
--	-----

Publicada desde 1985, a Revista da UNIFA é um periódico científico avaliado às cegas por pares, de periodicidade semestral e dotada de uma visão do Poder Aeroespacial. Concebida como um veículo de divulgação dos trabalhos dos alunos dos cursos de pós-graduação dos oficiais da Força Aérea Brasileira, a revista passou por um processo de transformação, superando dificuldades e se consolidando como um periódico científico dedicado ao tema do Poder Aeroespacial.

Nos últimos anos, também em face das modificações operadas com a criação do Ministério da Defesa e o desenvolvimento de centros de pesquisa e ensino, dedicados à Defesa e aos Estudos Estratégicos, a revista foi aprimorada, conquistando, assim, um perfil acadêmico de acordo com os novos tempos. Também dentro da própria Universidade da Força Aérea, outros setores mostraram-se integrados ao processo de transformação instaurado, fomentando as pesquisas atinentes às necessidades do Comando da Aeronáutica (COMAER), aproximando-se, assim, da comunidade acadêmica. Desta forma, a Coordenadoria de Mestrado em Ciências Aeroespaciais, subordinada a Pró-Reitoria de Ensino, encontra mais um espaço de divulgação dos trabalhos dos docentes e discentes, reforçando os laços de cooperação de setores de uma instituição que acompanha os ventos de mudança.

Paralelamente, o cenário tem estimulado o intercâmbio de ideias entre os periódicos dedicados às áreas afins devido ao contínuo crescimento do COMAER, favorecendo troca de experiências e discussões acerca do aprimoramento das modalidades de submissão e do amadurecimento do campo de atuação das publicações. Diante disso, a Revista da Universidade da Força Aérea firma-se como uma publicação singular em que se discutem os diversos aspectos com que o COMAER se confronta em seu cotidiano e em suas necessidades de planejamento, estratégia, defesa, capacitação e análise crítica.

A publicação tem como foco de sua atenção os estudos do Poder Aeroespacial. Desta forma, procura-se explicitar o escopo do periódico, elemento que baliza os artigos coligidos em nossas edições. Assim, o foco do periódico se debruça sobre as reflexões deste conceito norteador. Conforme a definição apresentada na Doutrina Básica da Aeronáutica, o Poder Aeroespacial,

É a projeção do Poder Nacional resultante da integração dos recursos de que a Nação dispõe para a utilização do espaço aéreo e do espaço exterior, quer como instrumento de ação política e militar quer como fator de desenvolvimento econômico e social, visando conquistar e manter os objetivos nacionais<sup>1</sup>.

Seus elementos constitutivos – Força Aérea, Aviação Civil, Infraestrutura Aeroespacial, Indústria Aeroespacial, Complexo Científico-Tecnológico Aeroespacial e os Recursos Humanos Especializados em Atividades Relacionadas ao Emprego Aeroespacial<sup>2</sup> – formam áreas que se interligam, estimulando a promoção de análises pertinentes aos estudos das mais diversas áreas do conhecimento correlacionadas a esse conceito.

Dado o alto grau de complexidade desta realidade, não é possível desconsiderar campos do conhecimento, como as grandes áreas de Ciências Biológicas, Ciências da Saúde, Engenharias, Multidisciplinar, Ciências Humanas, Ciências Sociais Aplicadas, entre outras, que são classificadas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A aproximação entre diversas disciplinas favorece a promoção de análises dedicadas ao desenvolvimento do Poder Aeroespacial e estimula uma reflexão crítica sobre o tema.

Estando disponível nas versões impressa e *on-line*, a Editoria Científica da Revista da UNIFA tem promovido desde 2014 a tradução de artigos nas línguas inglesa e espanhola como forma de contribuir com a difusão da produção acadêmica no Cone Sul, nos Estados Unidos, em diversos países Europeus e outros que demonstrem interesse em manter parceria na difusão de pesquisas científicas. Todavia, para que esta empreitada encontre êxito, o compromisso com o trabalho e o rigor com os procedimentos constituem as chaves para o cumprimento da missão.

Boa leitura!

<sup>1</sup>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 (DCA1-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n.121, f. 10, 26 jun. 2012. Disponível em: <<https://www2.unifa.aer.mil.br/posgrad/docs/dca.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

<sup>2</sup> *Ibid.*, f. 35-36.

Published since 1985, Journal of UNIFA is a scientific journal blindly evaluated by peers, published every six months and endowed with an Aerospace Power view. Conceived as a vehicle for disseminating the students' work from the Brazilian Air Force officers post-graduate, the journal underwent a process of transformation, overcoming difficulties and consolidating itself as a scientific periodical dedicated to the theme of Aerospace Power.

In recent years, also in view of the changes that have been made with the creation of the Ministry of Defense and the development of research and teaching centers, dedicated to Defense and to Strategic Studies, the journal was improved achieving therefore an academic profile according to new times. Still within the Air Force University, other sectors were integrated into the process of transformation established, fostering researches related to the needs of the Aeronautics Command (COMAER), thus approaching the academic community. In this way, the Master's Degree in Aerospace Sciences Department, subordinated to the Pro-Rector of Teaching, finds another space for disseminating the work of teachers and students, reinforcing the cooperation ties of sectors of an institution that accompanies the winds of change.

In parallel, the scenario has stimulated the exchange of ideas among journals dedicated to related areas due to the continuous growth of the COMAER, favoring the exchange of experiences and discussions about the improvement of submission modalities and the maturation of the publications field. In view of this, Journal of the Air Force University is a singular publication that are discussed the various aspects with which the COMAER is confronted in its daily life and in its planning, strategy, defense, training and critical analysis.

The publication focuses on the studies of Aerospace Power. In this way, it is proposed to explain the scope of the journal, an element that marks the papers collected in its editions. Thus, the Journal of UNIFA focuses on the reflections of that guiding concept. According to the definition presented in the Basic Doctrine of Air Force, the Aerospace Power,

Is the projection of National Power resulting from the integration of the resources available to the Nation for the use of airspace and of outer space, both as an instrument of political and military action and as a factor of economic and social development, aiming to achieve and maintain national objectives<sup>1</sup>.

Its constituent elements – Air Force, Civil Aviation, Aerospace Infrastructure, Aerospace Industry, Aerospace Scientific and Technological Complex, and Human Resources Specializing in Aerospace Employment<sup>2</sup> – form areas that interconnect, stimulating the promotion of analyzes pertinent to studies of the most diverse areas of knowledge correlated with that concept.

Given the high degree of complexity of this reality, it is not possible to disregard fields of knowledge, such as the large areas of Biological Sciences, Health Sciences, Engineering, Multidisciplinary, Human Sciences, Applied Social Sciences and others, which are classified by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES). The approximation among several disciplines favors the promotion of analyzes dedicated to the development of Aerospace Power and stimulates a critical reflection on the subject.

Being available in print and on-line versions, the Journal of UNIFA's Scientific Editorial Department has been promoting since 2014 the translation of papers in the English and Spanish languages as a way to contribute to the diffusion of academic production in the Southern Cone, in the United States, in several European countries and in others that show interest in maintaining partnership in that diffusion of scientific researches. However, for this undertaking to be successful, commitment to work and rigorous procedures are the keys to the fulfillment of the mission.

Good reading!

<sup>1</sup>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 (DCA1-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n.121, f. 10, 26 jun. 2012. Disponível em: <<https://www2.unifa.aer.mil.br/posgrad/docs/dca.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

<sup>2</sup> Ibid., f. 35-36.

Publicada desde 1985, la Revista de la UNIFA es un periódico científico, cuyos artículos son previamente evaluados a ciegas por los pares, con una periodicidad semestral y dotado de una visión del Poder Aeroespacial. La revista pasó por un proceso de transformación, superando las dificultades y consolidándose como un periódico científico dedicado al tema del Poder Aeroespacial, concebido para ser un vehículo de divulgación de los trabajos de los alumnos de los cursos de post-formación de los oficiales de la Fuerza Aérea Brasileña.

En los últimos años, también ante las modificaciones ocurridas con la creación del Ministerio de Defensa y el desarrollo de centros de investigación y enseñanza, dedicados a la Defensa y los Estudios Estratégicos, la revista fue mejorada, conquistando así un perfil académico, de acuerdo con los nuevos tiempos. También dentro de la propia Universidad de la Fuerza Aérea, otros sectores se integraron al proceso de transformación instaurado, fomentando las investigaciones relativas a las necesidades del Comando de la Aeronáutica (COMAER), aproximándose así a la comunidad académica. De esta forma, la Coordinadora de Maestría en Ciencias Aeroespaciales, subordinada a la Pro-Rectoría de Enseñanza, encontró otro espacio de divulgación de los trabajos de los docentes y discentes, reforzando los lazos de cooperación de los sectores de una institución que acompaña las tendencias de cambio.

Paralelamente, el escenario ha estimulado el intercambio de ideas entre los periódicos dedicados a las áreas afines, debido al continuo crecimiento del COMAER, lo que favorece el intercambio de experiencias y discusiones acerca del perfeccionamiento de las modalidades de sumisión de artículos y de la maduración del campo de actuación de las publicaciones. La revista de la Universidad de la Fuerza Aérea se estableció como una publicación singular, en que se discuten los diversos aspectos con los que del COMAER se enfrenta diariamente, en la atención de sus necesidades de planificación, estrategia, defensa, capacitación y análisis crítico.

La publicación tiene como foco de atención los estudios del Poder Aeroespacial. De esta forma, se procura explicitar el alcance del periódico, que es un elemento el cual modera los artículos recopilados en nuestras ediciones. Así, el foco del periódico se basa en las reflexiones de este concepto moderador. Conforme a la definición presentada en la Doctrina Básica de la Aeronautica, el Poder Aeroespacial,

Es la proyección del Poder Nacional resultante de la integración de los recursos de que dispone la Nación para la utilización del espacio aéreo y del espacio exterior, sea como un instrumento de acción política y, militar, o como un factor de desarrollo económico y social, buscando conquistar y mantener los objetivos nacionales<sup>1</sup>.

Sus elementos constitutivos – Fuerza Aérea, Aviación Civil, Infraestructura Aeroespacial, Industria Aeroespacial, Complejo Científico y Tecnológico Aeroespacial y los Recursos Humanos Especializados en Actividades Relacionadas al Empleo Aeroespacial<sup>2</sup> – forman áreas que se interconectan, estimulando la promoción de los análisis relativos a los estudios de las más diversas áreas del conocimiento que tienen correlación con este concepto.

Debido al alto grado de complejidad de esta realidad, no es posible desconsiderar ciertos campos de conocimiento, tales como las grandes áreas de Ciencias Biológicas, Ciencias de la Salud, Ingenierías, el área Multidisciplinar, Ciencias Humanas, Ciencias Sociales Aplicadas, entre otras, que se clasifican por la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES). El acercamiento entre estas diversas disciplinas favorece la promoción de los análisis dedicados al desarrollo del Poder Aeroespacial y estimula una reflexión crítica sobre el tema.

Estando disponible en las versiones impresa y en línea, la Editorial Científica de la Revista de la UNIFA ha promovido desde 2014 la traducción de artículos en los idiomas inglés y español, como una forma de contribuir a la diseminación de la producción académica en el Cono Sur, en los Estados Unidos, en diversos países europeos y otros que demuestren tener interés en mantener un pacto para la diseminación de investigaciones científicas. Sin embargo, para que este esfuerzo tenga éxito, el compromiso con el trabajo, además del rigor con los procedimientos, constituyen las claves para el cumplimiento de la misión.

¡Buena lectura!

<sup>1</sup>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 (DCA1-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n.121, f. 10, 26 jun. 2012. Disponível em: <<https://www2.unifa.aer.mil.br/posgrad/docs/dca.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

<sup>2</sup> Ibid., f. 35-36.



# Desenvolvimento de uma Câmara de Hipóxia Normobárica para Estudos em Fisiologia Humana

*Development of a Normobaric Hypoxia Chamber for Studies in Human Physiology*

*Desarrollo de una Cámara de Hipoxia Normobárica para Estudios en Fisiología Humana*

Endrigo Rosa de Carvalho<sup>I</sup>

Leandro Disiuta<sup>II</sup>

Eloy Vicente De La Barra Velasquez<sup>III</sup>

Júlio Cesar Marques de Lima<sup>IV</sup>

Thais Russomano<sup>V</sup>

## RESUMO

Um dos grandes desafios enfrentados por aviadores é perceber os efeitos fisiológicos individuais causados pela hipóxia. A hipóxia é a condição que o corpo humano enfrenta quando não recebe um adequado suplemento de oxigênio nos tecidos e células do corpo. A privação de oxigenação adequada ocasiona, a redução da capacidade cognitiva e visual, podendo, em casos extremos, levar à inconsciência e ao óbito. Portanto é necessário que os aviadores recebam treinamento com o objetivo de reconhecerem tais sintomas, a fim de garantirem a segurança de voo. Este artigo descreve o desenvolvimento de uma Câmara de Hipóxia Normobárica (CHN) portátil e de baixo custo. A CHN possibilita treinamento em situações de hipóxia para aviadores. Para ser portátil e de baixo custo, a CHN foi construída por meio de uma estrutura em tubos de PVC, revestida com lona vinílica transparente e dotada de fechos para acessar e isolar a atmosfera interna da câmara do restante do ambiente. O sistema de controle da CHN foi projetado para adquirir sinais dos sensores de O<sub>2</sub> e

CO<sub>2</sub>, processar e controlar o *hardware* dos atuadores responsáveis pela mistura gasosa, que permitem alterar a concentração de oxigênio no interior da CHN, e homogeneizar o ar dentro da CHN e realizar a exaustão do interior da câmara. Os resultados obtidos mostram que o desenvolvimento da CHN cumpriu os pré-requisitos estabelecidos no projeto. A CHN pode ser utilizada na capacitação de aviadores em condições controladas e na realização de pesquisas em fisiologia humana, relacionadas à hipóxia.

**Palavras-chave:** Câmara hipóxia normobárica. Alterações fisiológicas. Treinamento em hipóxia. Segurança de voo.

## ABSTRACT

*One of the great challenges faced by aviators is to realize the individual physiological effects caused by hypoxia. Hypoxia is the condition that the human body faces when it does not receive an adequate supplement of oxygen in the body tissues and cells. Deprivation of appropriate oxygenation leads to reduced cognitive and visual capacity,*

I. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. Mestre em Engenharia Elétrica pela PUCRS. E-mail: endrigorcarvalho@gmail.com

II. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. Doutorando em Engenharia Aeroespacial pela University of Tasmania (UTAS) – Austrália. E-mail: ldisiuta@gmail.com

III. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. Mestre em Engenharia Elétrica pela PUCRS. E-mail: eloy.velasquez@gmail.com

IV. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. Doutorado em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: prof.julio.lima@gmail.com

V. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. Phd em *Space Physiology* pela King's College London (KCL) – Grã-Bretanha. E-mail: trussomano@hotmail.com

Recebido: 23/08/2016

Aceito: 08/12/2017

thereby leading to unconsciousness and even death in extreme cases. It is therefore required that aviators receive training to recognize such symptoms to ensure flight safety. This paper describes the development of a portable and low cost Normobaric Hypoxia Chamber (NHC). The NHC provides training in situations of hypoxia for aviators. To be portable and cost-effective, the NHC was constructed using a PVC pipe structure, coated with transparent vinyl canvas and fitted with latches to access and seal the internal atmosphere of the chamber from the rest of the environment. The NHC control system was designed to acquire signals from  $O_2$  and  $CO_2$  sensors, to process and control the hardware of the gas mixture actuators, which allow the oxygen concentration within the NHC to be changed, and to homogenize the air within the NHC and carry out the exhaustion of the interior of the chamber. The results show that the development of the CHN has fulfilled the prerequisites established in the project. The NHC can be used to train aviators under controlled conditions and to carry out research on human physiology related to hypoxia.

**Keywords:** Normobaric hypoxia chamber. Physiological changes. Training in hypoxia. Flight safety.

## RESUMEN

Uno de los grandes desafíos enfrentados por los aviadores es percibir los efectos fisiológicos individuales causados por la hipoxia. La hipoxia es la condición que el cuerpo humano se enfrenta cuando no recibe un adecuado suplemento de oxígeno en los tejidos y las células del cuerpo. La privación de oxigenación adecuada ocasiona la reducción de la capacidad cognitiva y visual, pudiendo, en casos extremos, llevar a la inconsciencia y al óbito. Por lo tanto es necesario que los aviadores reciban entrenamiento con el objetivo de reconocer tales síntomas, a fin de garantizar la seguridad de vuelo. En este artículo se describe el desarrollo de una Cámara de Hipóxia Normobárica (CHN) portátil y de bajo costo. La CHN posibilita entrenamiento en situaciones de hipoxia para aviadores. Para ser portátil y de bajo costo, la CHN fue construida a través de una estructura en tubos de PVC, revestida con lona vinílica transparente y dotada de cierres para acceder y aislar la atmósfera interna de la cámara del resto del ambiente. El sistema de control de CHN está diseñado para adquirir señales de los sensores de  $O_2$  y  $CO_2$ , procesar y controlar el hardware de los actuadores responsables de la mezcla gaseosa, que permiten variaciones en la concentración de oxígeno dentro de la CHN y mezclar el aire dentro de la CHN y realizar el agotamiento del interior de la cámara. Los resultados obtenidos muestran que el desarrollo de

CHN cumplió los requisitos previos establecidos en el proyecto. La CHN puede ser utilizada en la capacitación de aviadores en condiciones controladas y en la realización de investigaciones en fisiología humana, relacionadas a la hipoxia.

**Palabras clave:** Cámara hipoxia normobárica. Alteraciones fisiológicas. Entrenamiento en hipoxia. Seguridad de vuelo.

## 1 INTRODUÇÃO

A hipóxia, caracterizada pelo inadequado suprimento de oxigênio ( $O_2$ ) para os tecidos e células do corpo, é uma condição com a qual os aviadores podem se deparar, devido a falhas ocorridas em uma aeronave. Como os sintomas de hipóxia variam de indivíduo para indivíduo, é necessário que os tripulantes conheçam seus próprios sinais e sintomas, de modo a permitir uma possível antecipação de ações corretivas, caso ocorra essa emergência em voo.

Na aviação, estatisticamente, o tipo de hipóxia com maior número de ocorrências é a hipóxia hipóxica, também conhecida como hipóxia de altitude. Essa situação é causada pela diminuição da pressão atmosférica, principalmente devido ao aumento de altitude, uma vez que naturalmente há uma diminuição na pressão parcial do oxigênio. A hipóxia da altitude tem como principais sinais e sintomas a diminuição gradativa da visão, a hiperventilação, o aumento dos batimentos cardíacos, a diminuição das funções psicomotoras, a perda de discernimento, a semiconsciência ou mesmo a inconsciência e, em situações mais graves, pode levar ao óbito (RUSSOMANO, 2012).

Embora acidentes aeronáuticos devido à hipóxia de altitude sejam raros (SELF et al., 2010), pode-se citar alguns casos de descompressão da aeronave que resultaram em hipóxia, como no caso do acidente que ocorreu com o famoso golfista norte-americano *Payne Stewart*, no dia 25 de outubro de 1999, em Dakota do Sul (CABLE, 2003). Outro caso, com características similares, ocorreu em 2 de agosto de 2005, com a aeronave da companhia *Cipriota Helios Airways*, em que morreram 110 passageiros e 8 tripulantes.

Conforme a *Federal Aviation Administration* (FAA – Administração Federal de Aviação) e a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), órgãos do governo norte-americano e brasileiro, respectivamente, faz-se necessário que os cursos de formação de pilotos tenham disciplinas

referentes à medicina aeroespacial, porém somente é exigido o conhecimento teórico conforme **MCA 58 – Manual de Curso Piloto Comercial – Avião** desenvolvido pelo então Ministério da Aeronáutica (BRASIL, 2013a).

O presente artigo trata do desenvolvimento de uma Câmara de Hipóxia Normobárica (CHN) capaz de simular a hipóxia em condições normais de pressão, por meio da oferta de uma atmosfera com baixa concentração de oxigênio, para quem estiver no interior da CHN, concentração essa que pode ser ajustada conforme a altitude que se deseje simular. A utilização dessa Câmara permite que pilotos e sua tripulação possam realizar um treinamento prático, de forma a testar e conhecer seus próprios limites e saber identificar os sintomas em condição de hipóxia, de modo a agir corretamente em situações reais de emergência em voo. A CHN também permite o treinamento de atletas (de alto rendimento) para um melhor condicionamento físico e adaptação à altitude (situação muito comum, por exemplo, com jogadores de futebol), além de pesquisas relacionadas à fisiologia humana e ao processo de envelhecimento.

A CHN possui características interessantes, como a possibilidade de treinamento simultâneo de mais de um indivíduo, além um sistema de controle automático que permite a simulação de diferentes altitudes com a diminuição da concentração de oxigênio. Buscando-se desenvolver uma CHN com características diferenciadas em relação às disponíveis comercialmente, a estrutura da câmara foi concebida para ser leve, fácil de montar, desmontar e transportar, podendo a mesma ser instalada em diversos locais (sem necessitar de instalação especial), bem como ser de baixo custo.

A construção da CHN teve por objetivo tornar mais real a simulação de hipóxia atualmente realizada no Centro de Microgravidade da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), a qual utiliza uma Máscara de Hipóxia (para diminuição da oferta de oxigênio), pois em uma situação real de emergência em voo, a máscara, de forma contrária, será a fonte adequada de oxigênio para que os tripulantes eliminem os efeitos da hipóxia de altitude. Portanto, para melhorar o treinamento em relação às ações que devem ser executadas pelos tripulantes, o ideal é utilizar-se um ambiente **real**, simulado por uma câmara fechada, onde a atmosfera tem baixa concentração de oxigênio e no qual poderão ser adaptados simuladores de voo e outros experimentos para avaliar a concentração e alterações do processo cognitivo da tripulação.

Na literatura científica, é possível encontrar diversos estudos sobre a hipóxia da altitude, nos quais são descritos os sinais e sintomas que ocorrem nos seres humanos submetidos a uma atmosfera com baixa concentração de oxigênio. Nesses trabalhos, sempre é enfatizado o fato de que cada indivíduo tem uma reação diferente quando submetido à hipóxia hipóxica (THE AVIATORS..., 2012), o que justifica a necessidade de um treinamento fisiológico prático para reconhecimento dos efeitos individuais e os perigos que os mesmos podem acarretar para a segurança de voo.

## 2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é desenvolver uma Câmara de Hipóxia Normobárica no Centro de Microgravidade – MicroG, da PUCRS. No trabalho, são abordados concepção, design, componentes mecânicos e estruturais, incluindo-se como é gerada a mistura de ar com baixa concentração de oxigênio para os usuários, os instrumentos utilizados e o *software* adaptado para seu controle e mecanismos de segurança.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da CHN foi realizada uma revisão da literatura, onde se aborda os aspectos mais relevantes relativos à hipóxia na aviação, assim como os diferentes métodos de simulação de hipóxia e os equipamentos existentes.

### 3.1 Hipóxia

O oxigênio é a principal fonte de vida para o ser humano, responsável por fornecer energia para as células e tecidos. A diminuição de um adequado suprimento de oxigênio as células e tecidos, causada por diferentes fatores, é denominada de hipóxia. O ser humano exposto a essa situação pode ter uma severa deterioração dos sistemas corpóreos, principalmente células do sistema nervoso central (especialmente células do cérebro), ocasionando sintomas como redução das funções visuais, alterações psicomotoras e cognitivas e, em casos extremos, perda da consciência e morte (DAVIS et al., 2008; ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

O tipo de hipóxia que mais afeta aeronautas é conhecido como hipóxia hipobárica ou hipóxica, sendo

esta resultante de toda e qualquer ocorrência ambiental. Nessa, há uma redução na pressão arterial parcial de O<sub>2</sub> (PA<sub>O<sub>2</sub></sub>), ocasionando uma redução na difusão do oxigênio através da membrana alvéolo-pulmonar, que acarreta na diminuição da quantidade de gás disponível para a oxigenação dos tecidos e células. Esse tipo de hipóxia pode ocorrer de forma aguda, quando há uma exposição imediata a um ambiente pressórico menor, na qual não há tempo hábil para o organismo compensar os efeitos da hipóxia (por exemplo, descompressão em voo), ou ainda de forma crônica, onde há uma exposição progressiva, na qual existe um período de compensação do organismo. (por exemplo, escalada em montanha) (COSTA; PROTÁSIO; BRASILEIRO, 2009; ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012).

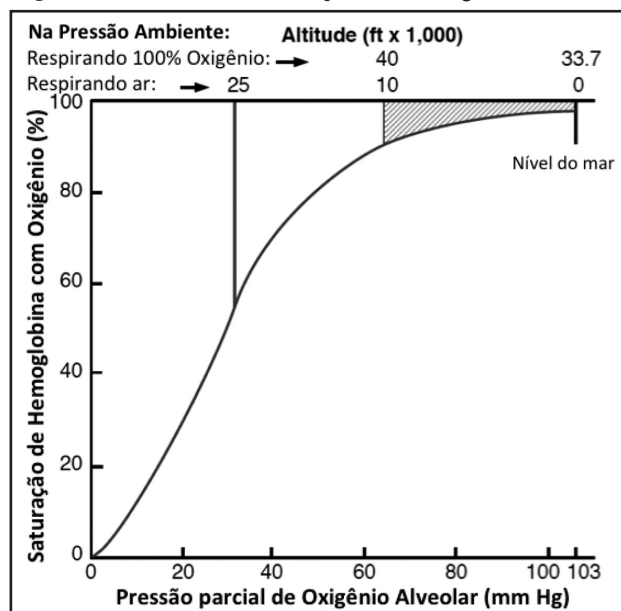
Com o aumento da altitude, há uma diminuição na pressão barométrica (Pb) e, conseqüentemente, na pressão parcial dos gases atmosféricos. A queda na pressão parcial do oxigênio inspirado (PI<sub>O<sub>2</sub></sub>) ocasiona uma redução na pressão parcial do oxigênio alveolar (PA<sub>O<sub>2</sub></sub>). A diferença entre PI<sub>O<sub>2</sub></sub> e PA<sub>O<sub>2</sub></sub> é mostrado na Equação 1 (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

$$PI_{O_2} - PA_{O_2} = PaCO_2 \left( FI_{O_2} + \frac{1 - FI_{O_2}}{R} \right) \quad (1)$$

Onde o FI<sub>O<sub>2</sub></sub> representa a fração de oxigênio inspirado e R a taxa de respiração. PaCO<sub>2</sub> é produzida por meio da taxa de produção de CO<sub>2</sub> na ventilação alveolar. Essa taxa irá manter-se constante até 10,000 ft. Acima disso, a PA<sub>O<sub>2</sub></sub> cai para níveis que desencadeiam um estímulo respiratório via quimiorreceptores arteriais (hiperventilação). Esta é uma medida protetiva para minimizar os efeitos da hipóxia à queda da PA<sub>O<sub>2</sub></sub> e, conseqüentemente, na saturação das hemoglobinas, como pode ser visto na Tabela 1 (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012).

A curva de dissociação da hemoglobina (Figura 1) (relação entre a curva de saturação de oxigênio - SpO<sub>2</sub> e PI<sub>O<sub>2</sub></sub>) mostra que até 10,000 ft uma grande elevação na altitude acarreta uma pequena variação de SpO<sub>2</sub> e, a partir de 10,000 ft, um pequeno aumento na altitude gera uma grande queda de SpO<sub>2</sub> e o agravamento nos sintomas da hipóxia (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

Figura 1 – Curva de dissociação da hemoglobina.



Fonte: Adaptado de Harding (2012).

Os sintomas da hipóxia hipobárica são divididos em quatro estágios. O **estágio indiferente** acontece do solo até 10,000 ft (ou do solo até 39,000 ft com suplementação de O<sub>2</sub> 100%), no qual o indivíduo se adapta sem a necessidade de suplementação de oxigênio. No entanto a visão é afetada, principalmente a noturna. Em um voo noturno a 5,000 ft, perde-se de 5% a 10% da visão, já a 10,000 ft, de 15% a 25% e acima de 12,000 ft, de 25%

Tabela 1 – Valores típicos para pressão e saturação da hemoglobina de um sujeito saudável exposto à hipóxia.

Altitude (ft)	Concentração de O <sub>2</sub> (%)	Pressão barométrica (Pb) (mm Hg)	Pressão parcial do O <sub>2</sub> inspirado (PI <sub>O<sub>2</sub></sub> ) (mm Hg)	Pressão parcial do O <sub>2</sub> no sangue arterial (PA <sub>O<sub>2</sub></sub> ) (mm Hb)	Saturação da hemoglobina (SpO <sub>2</sub> ) (%)
0,000	20,95	760	148	95	96
8,000	15,54	565	108	56	92
15,000	11,81	429	80	37	79
18,000	10,45	380	69	32	63
20,000	9,61	349	63	29	44

Fonte: Ernsting e Gradwell (2006).

a 30%. Também ocorre um aumento do metabolismo com maior queima calórica (COSTA; PROTÁSIO; BRASILEIRO, 2009; RUSSOMANO, 2012).

O **estágio compensatório** ocorre de 10,000 ft a 15,000 ft (ou de 39,000 ft a 42,500 ft com O<sub>2</sub> 100%). O organismo tende a compensar os efeitos da hipóxia por meio de respostas respiratória e cardiovascular, como a hiperventilação e o aumento dos batimentos cardíacos. Os principais sintomas são sonolência, alterações no julgamento, descoordenação motora, raciocínio mais lento, sensação de **bem-estar** (certa euforia), sendo essa a mais perigosa, pois não permite que o indivíduo tome providências mediante emergência (COSTA; PROTÁSIO; BRASILEIRO, 2009; RUSSOMANO, 2012).

O **estágio perturbado** é verificado de 15,000 ft a 20,000 ft (ou de 42,500 ft a 45,000 ft com O<sub>2</sub> 100%). Nele, a compensação realizada pelo organismo não é mais satisfatória. Os principais sintomas são hiperventilação acentuada, taquicardia e cefaleia intensa. Há alterações nas funções psicomotoras, como aumento significativo no tempo de reação, descoordenação muscular e descoordenação motora, alterações nas funções cognitivas, como debilitação da performance a novas tarefas, diminuição da memória de curto e longo prazos e raciocínio lógico, dificuldade na resolução de tarefas matemáticas simples, perda de julgamento e alteração na função visual como redução de percepção à intensidade luminosa. A acuidade visual é diminuída com pouca luz e perda da visão periférica (visão em túnel) (COSTA; PROTÁSIO; BRASILEIRO, 2009; RUSSOMANO, 2012).

No **estágio crítico** (acima de 20,000 ft ou 45,000 ft com O<sub>2</sub> 100%), há uma debilitação dos sistemas cardiopulmonar e nervoso, acentuação dos sintomas que acontecem no estágio perturbado. Há uma rápida diminuição do desempenho mental e pode ocorrer inconsciência com pouco ou nenhum sintoma, convulsões caracterizadas pelas contrações musculares que produzem opistótono (cabeça, braço, pescoço e

coluna vertebral formam uma posição de arco côncavo para trás), precedido ou seguido por um ou mais espasmos musculares, semiconsciência, inconsciência e morte (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

O intervalo entre a diminuição de demanda de oxigênio até o momento que o indivíduo perde a capacidade de tomada decisões (protetoras e corretivas) é chamado de Tempo de Desempenho Eficaz (TDE). Na prática, o conceito mais aceito é o período que o indivíduo afetado retém a habilidade para atuar na correção de situações difíceis (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

Um piloto que está a 15,000 ft terá 30 minutos ou mais para reconhecer os seus sintomas e (ou) sinais de hipóxia e tomar atitudes que salvem os passageiros e tripulantes de um acidente, porém esse mesmo piloto terá no máximo 20 segundos, caso esteja a 40,000 ft. O tempo de desempenho eficaz é mostrado na Tabela 2 (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

### 3.2 Métodos de Simulação de Hipóxia Hipóxica

A hipóxia hipóxica pode ser gerada por duas formas. A primeira pela mudança na pressão ambiental, que acarretará uma diminuição na pressão parcial (PI<sub>O<sub>2</sub></sub>) que o oxigênio exercerá na difusão gasosa dos pulmões para o sangue. Esse tipo de ambiente pode ser simulado em câmaras hipobáricas. A segunda forma, que será utilizada na câmara desenvolvida nesse trabalho, é obtida pela mudança na fração do volume de oxigênio no ambiente. A fração do volume de oxigênio é diretamente proporcional à pressão parcial exercida por ele, sendo assim uma diminuição no volume de oxigênio irá, conseqüentemente, diminuir a pressão parcial exercida na difusão gasosa dos alvéolos para o sangue. Essa mudança ambiental pode ser simulada em câmaras normobáricas.

**Tabela 2** – Relação entre TDE, altitude e a concentração de O<sub>2</sub>.

Altitude (ft)	Concentração de O <sub>2</sub> (%)	Tempo de desempenho eficaz TDE (s)
15,000	11,81	1800 ou mais
18,000	10,45	1200 a 1800
22,000	8,83	300 a 600
25,000	7,76	180 a 360
28,000	6,80	150 a 180
30,000	6,21	60 a 180
35,000	4,92	30 a 60
40,000	3,87	15 a 20
50,000	-	6 a 9

Fonte: Russomano (2012).

Conforme a *International Standard Atmosphere* (ISA – Atmosfera padrão internacional), os valores padrão para a pressão barométrica e a concentração de oxigênio ao nível do mar são de 760 mmHg e 21%, respectivamente. Em uma pessoa saudável, a saturação da hemoglobina (SpO<sub>2</sub>), ao nível do mar, é de aproximadamente 98% a 99% (RUSSOMANO, 2012).

### 3.2.1 Câmara de hipóxia normobárica (CHN)

A CHN ou tenda hipóxica consiste em uma sala em que há uma inserção de uma mistura gasosa, geralmente nitrogênio, com pressão igual à atmosférica. Como não há variação na pressão, a sua estrutura pode ser construída como uma barraca totalmente vedada, podendo ter estrutura de plástico ou alumínio e invólucro em nylon (COLORADO ALTITUDE TRAINING, 2010; HYPOXICO ALTITUDE TRAINING SYSTEMS, 2010).

Para este trabalho, foram pesquisadas câmaras hipóxicas desenvolvidas em universidades na Inglaterra e nos Estados Unidos. O *King's College London* possui uma câmara para pesquisas da fisiologia humana em ambientes extremos. Essa câmara possui aproximadamente 9m<sup>2</sup>, sendo construída em plástico PVC transparente com estrutura de alumínio, aberturas lacradas com zíperes (Figura 2), e com capacidade para 10 pessoas. A geração do ar empobrecido em oxigênio é feita por meio do equipamento da *Training With Altitude Air Generator* (TWAAG). O monitoramento de ar no interior da CHN é realizado por sensores de gases.

**Figura 2** – CHN do *King's College London* no Reino Unido.



**Fonte:** Os autores.

A *Embry-Riddle Aeronautical University* nos Estados Unidos também possui uma câmara de hipóxia

normobárica fabricada pela empresa *CAT Altitude Training*. Ela é construída com placas de polipropileno e estrutura de alumínio, sendo montada sobre uma estrutura de madeira elevada em relação ao chão, por onde é feita a passagem da fiação elétrica. Mede aproximadamente 9,6 m<sup>2</sup> e possui também uma antessala. Tem capacidade de utilização por 9 indivíduos, além da possibilidade de uso de simulador de voo. A geração de mistura gasosa é feita com o equipamento *CAT Air Unit*. O monitoramento é feito por dois sensores de oxigênio, um sensor de dióxido de carbono, um de pressão e um de temperatura (COLORADO ALTITUDE TRAINING, 2010).

### 3.2.2 Câmara de hipóxia hipobárica

A Câmara de hipóxia hipobárica (CHH) consiste em uma sala, na qual há uma diminuição pressórica ambiental. O seu funcionamento consiste em usar válvulas de vácuo para reduzir a pressão do interior da câmara, simulando a pressão ambiental correspondente à altitude desejada. Sua construção, seu funcionamento e sua manutenção envolvem maior complexidade e custos em relação às câmaras normobáricas hipóxicas, sem a possibilidade de mobilidade. A Figura 3 ilustra a Câmara Hipobárica da Força Aérea Brasileira (FAB).

**Figura 3** – CHH da Força Aérea Brasileira.



**Fonte:** Brasil (2013b).

Comparando a CHH e a CHN em relação à estrutura, a CHH tem uma estrutura extremamente complexa, robusta e pesada, ao contrário da CHN, que é mais leve, podendo ser modulável e facilmente transportável.

De acordo com Self (2010), foi concluído, após vários testes fisiológicos e parâmetros medidos, que a CHN é tão eficiente quanto a CHH para treinamento fisiológico em hipóxia, com a vantagem de ter muito menor custo e ser segura, pois diminui a chance de barotrauma e da doença da descompressão.

### 3.2.3 Máscara de hipóxia

As máscaras de hipóxia recebem a mistura gasosa pré-selecionada através de um cilindro ou gerador de **altitude simulada**. Diferente de outros modos de treinamento, a máscara não necessita de infraestrutura para sua utilização, o que torna menos oneroso o custo de construção, instalação e manutenção.

Para o treinamento dos alunos da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da PUCRS, o Centro de Microgravidade (MicroG) desenvolveu este sistema, que é composto por uma máscara de oxigênio, traqueia de silicone, válvula seletora manual, balão de látex, um cilindro de O<sub>2</sub> medicinal a 100%, para uso em emergências, e cilindros de misturas gasosa (balanceamento de O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>) (Figura 4).

**Figura 4** – Máscara de hipóxia do MicroG.



Fonte: Os autores.

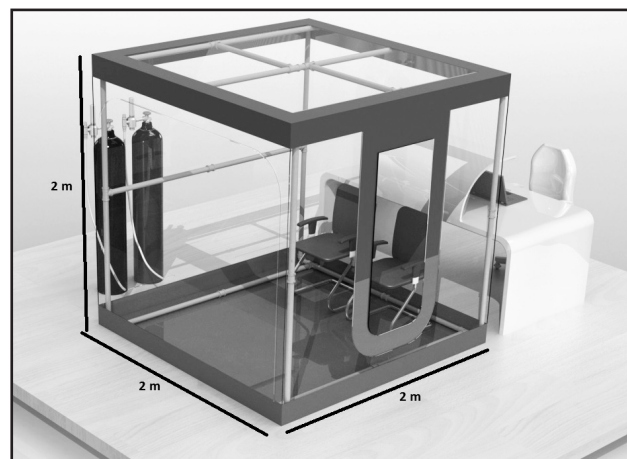
## 3.3 Desenvolvimento da Câmara de Hipóxia Normobárica

A CHN desenvolvida no Centro de Microgravidade tem como objetivo final o treinamento fisiológico de pilotos e tripulação em hipóxia e estudos do comportamento do organismo a altas altitudes, por meio de protocolos de pesquisa. Com base nesse objetivo, foi constatado que a

CHN deveria possuir as seguintes características: material que permita que ela seja desmontável, de fácil transporte e o mais leve possível, sendo a sua massa não superior a 150 kg. A CHN ainda deveria possuir dimensões suficientes para permitir sua utilização por dois voluntários e também comportar esteira ergométrica, bicicleta ergométrica ou cicloergômetro com dimensões máximas de 1,12 m por 0,53 m, por 1,13 m. O material da estrutura deveria ser impermeável.

A partir desses pré-requisitos, foi definido que a CHN teria dimensões mínimas de altura, largura e profundidade de 2 m, bem como estrutura leve e transparente. Foi desenvolvido um desenho computacional por meio do *software* CAD (Figura 5). Para o desenvolvimento da CHN e seu controle, foi necessária a elaboração de plataformas de *hardware*, *software* e *firmware* dedicados. Ao final, cada uma das partes foi integrada ao sistema de controle.

**Figura 5** – Desenho computacional da Câmara de Hipóxia Normobárica do MicroG.



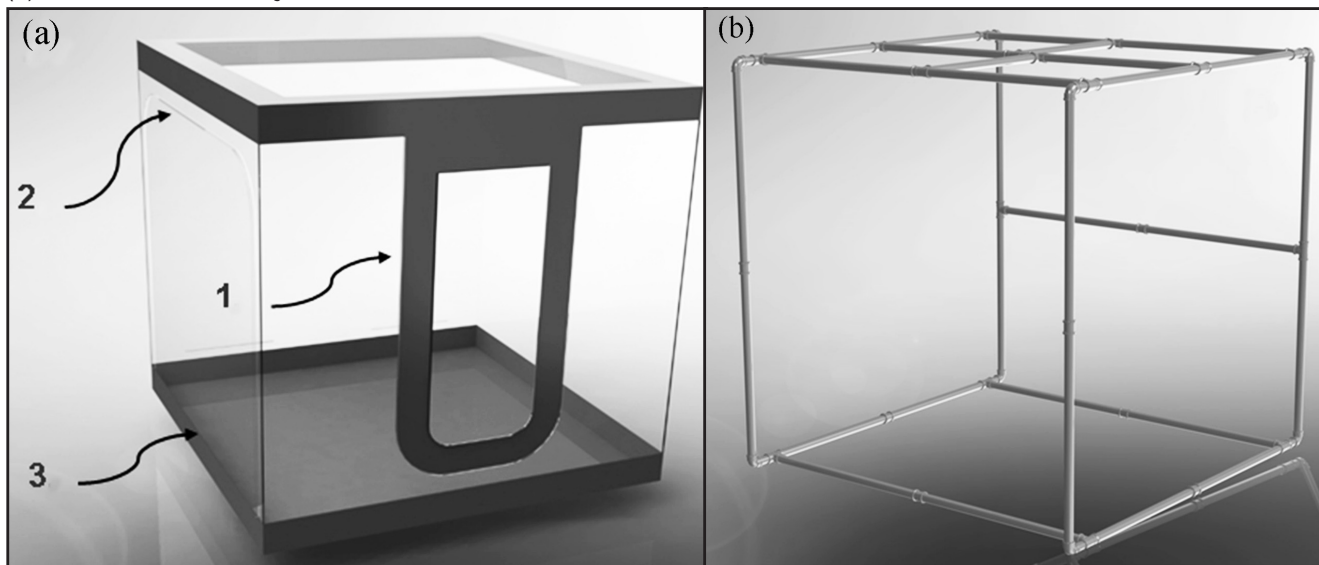
Fonte: Os autores.

### 3.3.1 Design da estrutura principal

A CHN foi então desenvolvida com estrutura de tubos de PVC de 40 mm de diâmetro e revestida com lona vinílica. A maior vantagem desse material é possibilitar sua montagem e desmontagem em poucos minutos, além de ser leve e apresentar um excelente custo-benefício. O peso da estrutura feita de tubos de PVC é de cerca de 15 kg. Na Figura 6 (b), pode ser conferida a estrutura interna para sustentação da CHN.

Na composição do revestimento da base foi utilizada lona vinílica kp1400; nas paredes, lona vinílica kp1000; e o **laminado cristal 60** para as partes transparentes, todos contendo 0,6 mm de espessura e densidade de 0,2 g/cm<sup>3</sup>. A dimensão total do revestimento é de 24 m<sup>2</sup> e sua massa é de 48 kg, conforme Figura 6 (a).

**Figura 6** – (a) Visão esquemática frontal do revestimento da CHN. 1: Entrada Principal; 2: Entrada Secundária; e 3: Zíper. (b) Estrutura de sustentação interna simulada em *software*.



Fonte: Os autores.

A entrada principal foi desenvolvida em forma de U, com largura de 0,8 m e altura de 1,6 m, lacrada com zíper, tendo como objetivo permitir uma rápida abertura em caso de emergência. Para a inserção de equipamentos e objetos da CHN, como macas, cadeiras e equipamentos médicos, foi desenvolvida uma porta secundária, medindo aproximadamente 1,87 m de altura por 1,62 m de largura.

Para que houvesse a possibilidade de visualização do indivíduo pelo lado externo da câmara, as paredes foram projetadas com PVC transparente (laminado cristal 60), exceto nas áreas de reforço que estão em contato com os tubos. Para esses locais foi projetada a utilização de PVC opaco (lona vinílica kp1000), visto que há maior resistência. Com a intenção de haver melhor iluminação no interior, o teto também foi projetado com PVC transparente.

A entrada e saída dos tubos de gases e a fiação elétrica foram projetadas para serem inseridas na câmara por meio de duas aberturas por zíper na parte traseira, medindo 0,4 m. Para facilitar a montagem da estrutura, foi colocado um zíper na parte inferior do revestimento, possibilitando separar o piso das paredes.

### 3.3.2 Sensores

Para o controle da mistura de gás no interior da CHN, foram utilizados um sensor de  $O_2$  e um sensor de  $CO_2$ . O sensor de oxigênio é do modelo PSR-11-915-2 da *Analytical Industries*. A saída varia entre 23  $\mu A$

a 30  $\mu A$  e equivalente a escala de 0% a 100% de  $O_2$ . A resposta é menor que 20 segundos para chegar a 90% do valor medido e sua expectativa de vida é de 60 meses.

O sensor de  $CO_2$  utilizado é do modelo MG811 da *Parallax*. O sensor funciona pelos princípios eletrolíticos, em que o gás ativa o elemento de aquecimento interno, gerando uma pequena tensão na saída, na mesma proporção da quantidade de gás exposto ao ar. Esse sensor necessita de uma tensão que pode variar entre 6,5 V a 12,0 V.

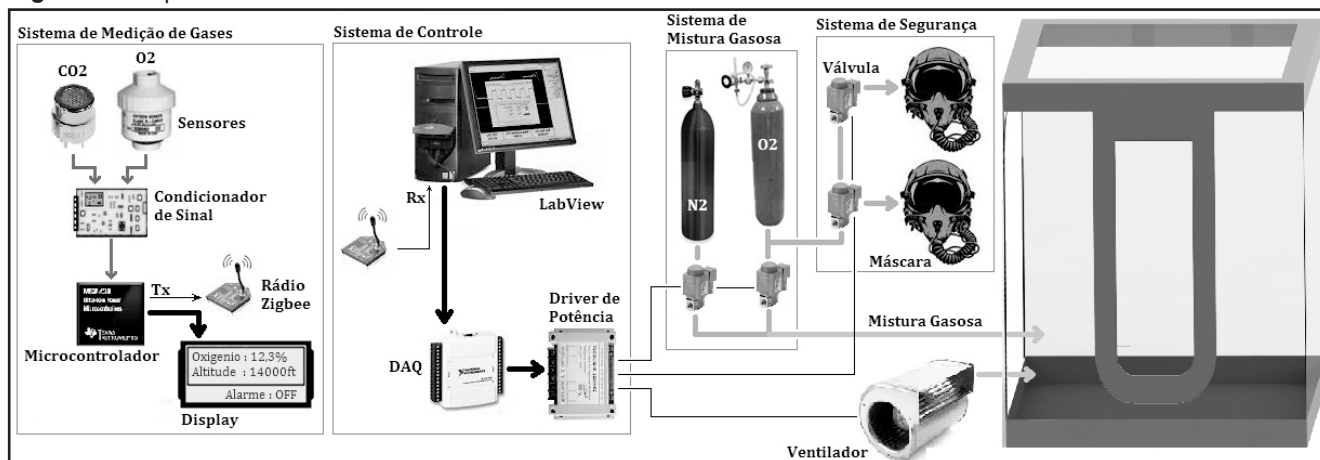
### 3.3.3 Hardware da CHN

O *hardware* da CHN é composto de duas partes: uma responsável pela leitura dos sensores de gases e comunicação, e outra pelo controle das válvulas e do ventilador de homogeneização do ar e, portanto, da concentração de  $O_2$ , conforme ilustra a Figura 7.

Para o controle automático de abertura e fechamento dos gases, foi utilizada uma válvula solenoide VSMA-1422 com duas vias. O sistema de medição dos gases é composto por um sensor de oxigênio modelo PSR-11-915-2, por um sensor de  $CO_2$  modelo MG811 e por uma placa utilizando microcontrolador de 16 bits, da família MSP430 da *Texas Instruments*, dedicado para a instrumentação e leitura desses sensores. Essa placa também é responsável por transmitir os dados dos sensores, por meio de rádio *Zigbee*, a um computador, onde é executado o *software* de controle desenvolvido na plataforma *LabView*.



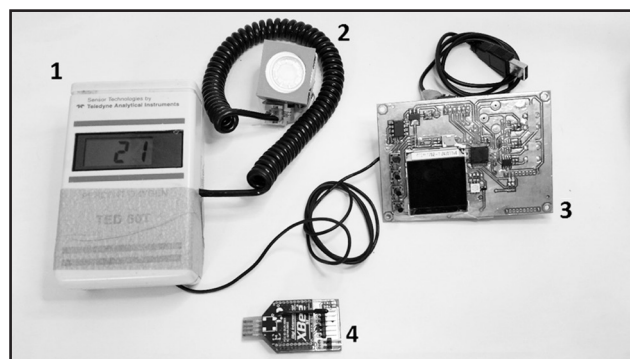
Figura 7 – Esquema do hardware da CHN.



Fonte: Os autores.

Essa placa eletrônica foi projetada em *software* CAD (*Altium Designer*) e usinada com uma fresadora CNC LPKF S63 em duas camadas. Para a interface com o usuário, foi adicionado um teclado contendo quatro botões, um display gráfico e um *buzzer* para sinalização de alertas (Figura 8). Um oxímetro portátil modelo TED 60T foi utilizado para verificar o sistema de medição de gases.

Figura 8 – Hardware. 1: Oxímetro Portátil; 2: Sensor de Oxigênio; 3: Placa eletrônica desenvolvida; e 4: Módulo Zigbee.



Fonte: Os autores.

O acionamento elétrico das válvulas de controle dos gases e do ventilador de homogeneização do ar é feito com a utilização de uma placa DAQ da *National Instruments* modelo USB-2006, conectada a um computador que processa as informações dos sensores de modo a obter a proporção de  $O_2$  e  $N_2$  desejada. O módulo DAQ está conectado a um *driver* ULN2003, que permite o acionamento de nove relés. Para acomodação da placa de circuito impresso, foi utilizada uma caixa plástica, sendo a tampa frontal substituída por uma projetada no *software SolidWorks* e impressa na impressora *3D MakerBot 2X*, na qual foram inseridos *bornes* para a conexão elétrica.

Para garantir a homogeneização da mistura gasosa, foi utilizado um ventilador (009-B40-22”, fabricante SPAL). Durante e após o uso da CHN, há necessidade da exaustão da mistura gasosa para um ambiente externo, então foi adaptado um ventilador modelo MC-11B, da *Elgin*, juntamente com uma base (suporte do conector), conector e tubos flexíveis. Para adaptá-los ao sistema, foi necessária a impressão de algumas peças na impressora *3D Makerbot 2X*, em material ABS. Por segurança, foram disponibilizadas, no interior da câmara, máscaras com 100% de oxigênio medicinal. A máscara utilizada no sistema de oxigenação é do tipo MBU-12/P, da *GENTEX*, cedido pela FAB para este projeto.

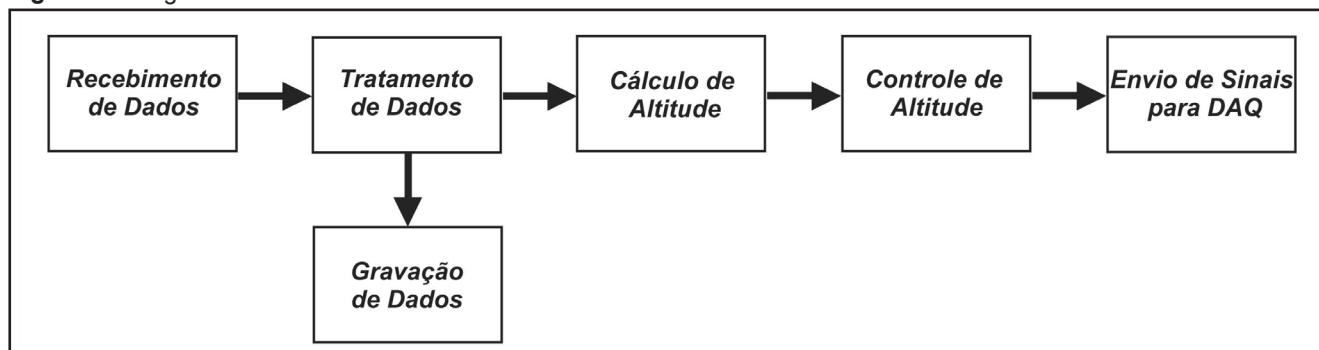
### 3.3.4 Firmware da CHN

O *firmware* foi desenvolvido em linguagem de programação C, sendo utilizada a plataforma de desenvolvimento *Eclipse* para a programação do processador MSP430F2619. Para o *firmware* ficar mais robusto, ou seja, à prova de falhas no envio de pacotes para o *software*, foi implantado o modo de transmissão *handshake*.

### 3.3.5 Software da CHN

Foi desenvolvido *software* na plataforma de desenvolvimento *LabView*, tendo como principal função controlar todos os sistemas envolvidos no projeto e ser a *interface* do usuário (*Graphical User Interface – GUI*) com o sistema. O mesmo recebe pacotes de dados enviados pelo sistema de sensoriamento, faz o tratamento desses dados, grava em arquivo de texto, faz os cálculos e controle dos gases conforme o *set-point* de altitude e, por último, envia os sinais para o sistema de controle. A Figura 9 mostra o diagrama de blocos do *software*.

Figura 9 – Diagrama de blocos do software.



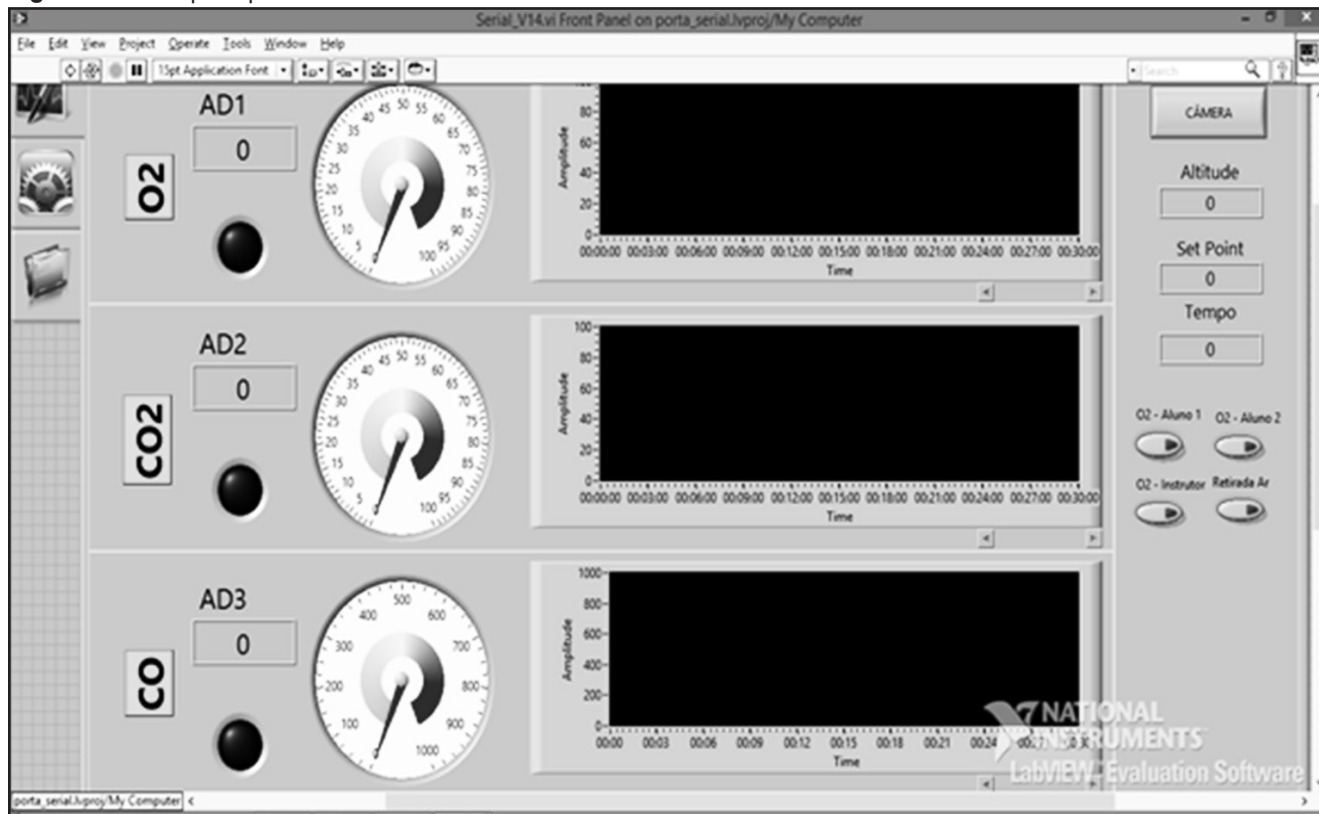
Fonte: Os autores.

O início do software se dá por meio do bloco de recebimento de dados, que então receberá os pacotes de dados enviados por uma porta serial (COM) do sistema de sensoriamento. Em seguida, é feita a verificação do pacote de dados recebidos e, ao final, o pacote de dados é alocado na variável **Valor Aceito**. Os valores de  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $CO$  podem ser gravados em um arquivo de texto, conforme necessidade do usuário.

O software foi projetado com três telas. A tela do visualizador é a principal, onde o usuário

visualiza os valores dos principais parâmetros do sistema, como  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $CO$ , além de acionar o módulo da Webcam e as válvulas solenoide do sistema de segurança. A tela de configuração do sistema é responsável por toda a configuração do software, incluindo limites de alarmes, porta serial e endereços de gravação. A tela de entrada é responsável pela inserção de *set-points* de altitude com a possibilidade de entrada automática ou manual, além de possibilitar o acionamento de todos os equipamentos gerenciados pelo sistema de controle. Na Figura 10, está ilustrada a tela principal.

Figura 10 – Tela principal do software desenvolvido.



Fonte: Os autores.

### 3.3.6 Sistema de controle da CHN

Para determinar a mistura de gases no interior da CHN, que gera um ambiente hipóxico, de acordo com requisitos pré-estabelecidos em treinamentos ou protocolos de pesquisa, foi desenvolvido um sistema de entrega de gases controlado, realizando a integração do *software*, *hardware* e *firmware*. Além desses componentes, o sistema é composto pelos cilindros de oxigênio e de nitrogênio, válvulas solenoide e mangueiras de ar comprimido. Na Figura 11, é possível visualizar um esquema ilustrativo do sistema de controle.

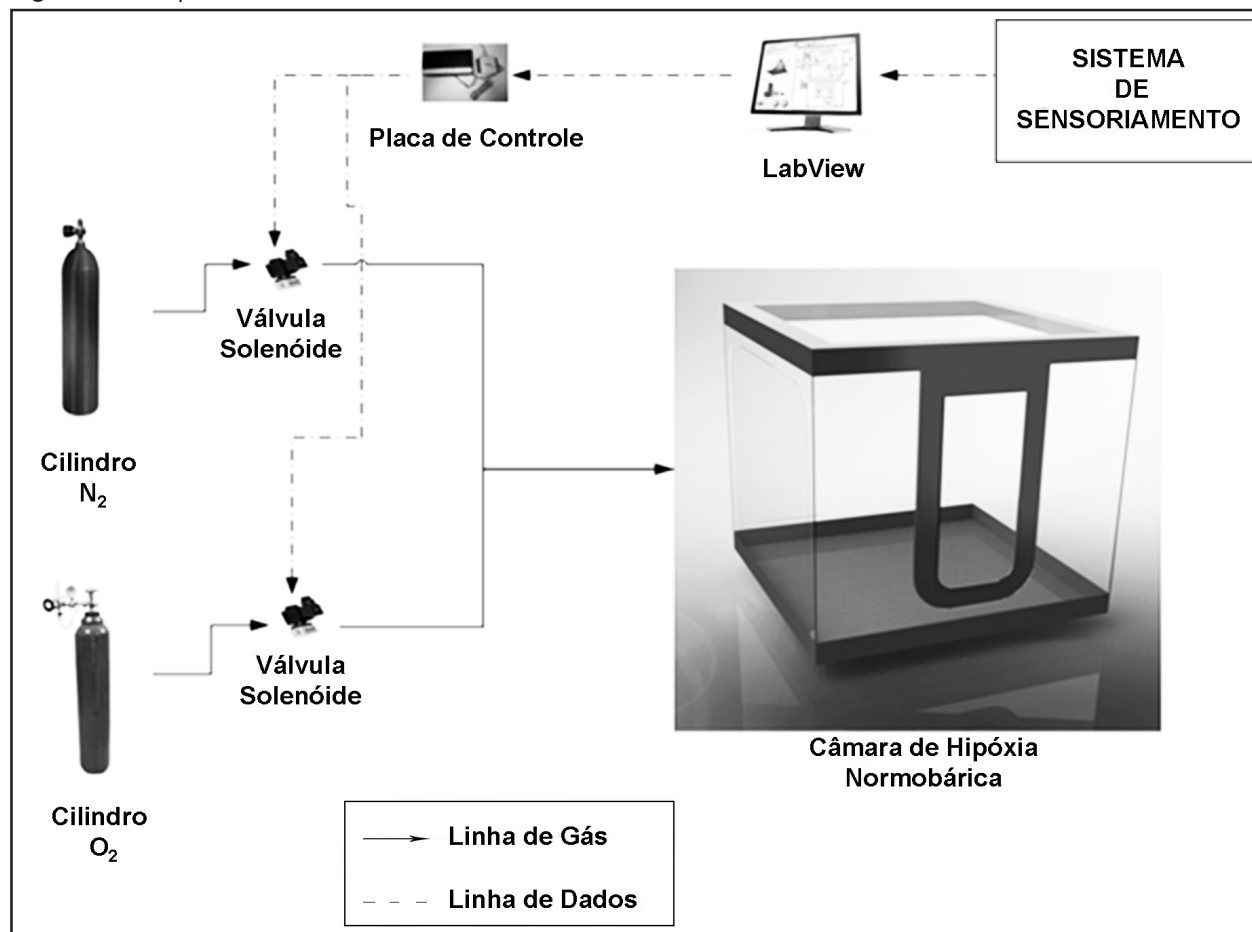
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o desenvolvimento desse projeto, foram definidas as seguintes características para a CHN: ser desmontável e de fácil transporte; possuir massa inferior a 150 kg; ter estrutura transparente; ser de material impermeável; e conter dimensões suficientes para permitir a utilização simultânea de dois voluntários, e

comportar ainda uma esteira ergométrica e (ou) uma bicicleta ergométrica e (ou) um cicloergômetro.

Para o desenvolvimento da estrutura, foram escolhidos tubos de PVC, por ser um material leve, de baixo custo em relação aos demais materiais analisados (alumínio e madeira) e por cumprir o pré-requisito de ser desmontável e de fácil transporte. O revestimento escolhido foi lona vinílica Kp1000, Kp1400 e **laminado cristal 60** por ser impermeável e permitir uma visão interna pela parte externa, cumprindo o pré-requisito de ter uma estrutura transparente e utilizar material impermeável. Com relação às dimensões, não houve mudanças em relação ao projeto inicial, ou seja, manteve-se o estipulado, as dimensões de 2 m x 2 m x 2 m, o que é adequado para treinamento de pilotos e atletas, podendo comportar a utilização simultânea de dois voluntários e um equipamento para exercícios. O peso da estrutura completa é em torno de 63 kg, sendo, assim, inferior ao pré-requisito referente ao peso máximo da mesma. Com isto, foi comprovado que a concepção e o *design* da CHN seguiram com êxito os pré-requisitos estabelecidos no início do projeto.

Figura 11 – Esquema ilustrativo do sistema de controle.



Fonte: Os autores.

Para garantir a segurança e o correto funcionamento do sistema de controle de *hardware*, foram desenvolvidos um teste de vedação e um teste de controle de *hardware*, descritos a seguir. O teste de vedação (Figura 12) foi compreendido na aplicação de fumaça branca no interior da câmara, tendo como resultado a verificação visual de vazamentos, considerados mínimos, localizados nos zíperes das aberturas, concluindo-se que a CHN é segura para uso. No entanto os indivíduos que ficam ao redor da câmara, durante protocolos de pesquisa ou treinamentos, também devem tomar precauções, como monitoramento da saturação do oxigênio no sangue, por meio de oximetria, para evitarem hipóxia indesejada. É recomendado que o recinto no qual a CHN esteja instalada seja bem ventilado, evitando levar a hipóxia a indivíduos que estejam perto do equipamento.

**Figura 12** – Teste de vedação na CHN.



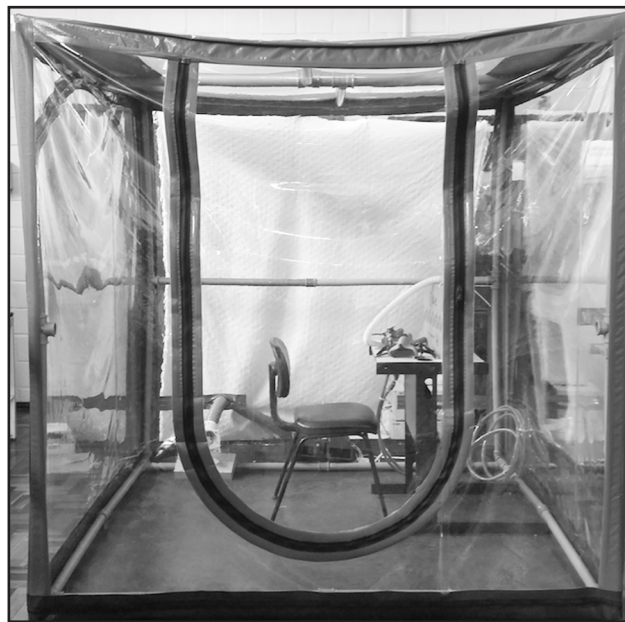
**Legenda:** Do lado direito, é possível ver a CHN completamente preenchida com fumaça branca. Do lado esquerdo, verifica-se visualmente mínimos vazamentos por meio do zíper. Tais vazamentos são compensados pelo sistema de controle.

**Fonte:** Os autores.

O teste de bancada do funcionamento de sistema de controle de *hardware*, foi realizado com o intuito de verificar o correto funcionamento e eventuais sobreaquecimentos do módulo de controle de *hardware*. O primeiro resultado demonstrou que, ao ativar ou desativar bobinas e motores, era gerado ruído, que causava problemas no módulo DAQ. Para solucionar esse problema, foram adicionados filtros na saída do módulo de controle de *hardware*. Não houve sobreaquecimento no módulo de controle de *hardware*. Uma melhoria implementada, em comparação às câmaras pesquisadas, está no aspecto de segurança. A CHN realiza um controle de CO<sub>2</sub> por meio de seus sensores embarcados e, uma vez que o nível de CO<sub>2</sub> atinge um nível crítico pré-programado, um alarme sonoro é disparado para que as ações de segurança sejam tomadas. Tais ações consistem em abertura da câmara e suplementação imediata de oxigênio para os indivíduos no seu interior.

A CHN desenvolvida apresentou um baixo custo de desenvolvimento e concepção em relação às câmaras pesquisadas. Em relação à câmara desenvolvida no *King's College London*, a CHN teve um custo de 4% da mesma. Já em relação à câmara da FAB, o custo ficou em torno de 6%, enquanto que, em relação à câmara da universidade *Embry-Riddle*, ficou em 14%. A versão final da CHN pode ser conferida na Figura 13.

**Figura 13** – Versão final da CHN.



**Fonte:** Os autores.

## 5 CONCLUSÃO

Ao final desse projeto, foi desenvolvida a estrutura física utilizando tubos e lonas vinílicas, *hardware* e *firmware*, responsável pelo sistema de medição de gases e *hardware* para o controle das válvulas e do ventilador de homogeneização do ar. Também foi desenvolvido o *software* para o controle do sistema e *interface* com o usuário e, por final, o sistema de entrega gasosa. Foi ainda desenvolvido um teste para garantir a vedação da estrutura e o perfeito funcionamento do sistema de controle de *hardware*. Conclui-se, assim, que as etapas de concepção e de *design* seguiram com êxito todos os pré-requisitos, estando a CHN apta e segura para uso.

O maior destaque deste projeto deu-se em relação ao custo, comparado com outras câmaras pesquisas, que permitem as universidades e aeroclubes adquirir a CHN e, por conseguinte, complementar a formação de pilotos e realização de novas pesquisas aeroespaciais, ao abrir um campo para diversos estudos futuros e impactar positivamente a segurança da aviação civil e militar.

A CHN também pode ser utilizada para treinamentos de atletas e em exame HAST (*Hypoxia-Altitude Simulation Test*) em pacientes com doenças respiratórias, o que amplia suas aplicações.

## REFERÊNCIAS

THE AVIATORS, terceira temporada, sexto episódio: anatomy of a commercial flight. Produção de FourOints Television, 2012.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Instituto de Aviação Civil. **Aviação Civil**: manual de curso piloto comercial – avião. Brasília – DF: Instituto de Aviação Civil, 2013a. 189 p.

\_\_\_\_\_. Instituto de Medicina Aeroespacial Brigadeiro Médico Roberto Teixeira. **Instrução na câmara hipobárica**. 2013b. Disponível em: <<http://www2.fab.mil.br/ima/index.php/imagens/event/CmaraHipobrica#2>>. Acesso em: 4 set. 2014.

CABLE, G. G. In-flight hypoxia incidents in military aircraft: causes and implications for training. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, v. 74, n. 2, p. 169-172, 2003. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/asma/asem/2003/00000074/00000002/art00010>>. Acesso em: 4 fev. 2016.

COLORADO ALTITUDE TRAINING. **Altitude simulation system for pilots: the CAT hypoxic aviation system™**. Louisville, CO: Colorado Altitude Training, 2010.

COSTA, J. C.; PROTÁSIO, K. L.; BRASILEIRO, M. E. A hipóxia é a principal alteração fisiológica

no transporte aeromédico. **Revista Eletrônica de Enfermagem do Centro de Estudos de Enfermagem e Nutrição**, v. 1, n. 1, p. 1-15, jan./jul. 2009.

DAVIS, J. R. et al. **Fundamentals of aerospace medicine**. 4th ed. [S.l.]: Ed. Wolters Kluwer, 2008. p. 30-45.

ERNSTING, J. ; GRADWELL, D. P. **Ernsting's aviation medicine**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. 864 p.

HARDING, R. M. Pressure changes and hypoxia in aviation. **Medical Aspects of Harsh Environments**, v. 2, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.cs.amedd.army.mil/borden/Portlet.aspx?ID=7c0ebab2-6720-4e15-883b-dbfafa960f9>>. Acesso em: 28 jun. 2014.

HYPOXICO ALTITUDE TRAINING SYSTEMS. **Hypoxico K2 high flow system**. New York: [s.n.], 2010.

RUSSOMANO, T. **Fisiologia aeroespacial: conhecimentos essenciais para voar com segurança**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

SELF, D. A. et al. **Physiological equivalence of normobaric and hypobaric exposures of humans to 25,000 feet**: final report. Washington: Civil Aerospace Medical Institute, 2010.

# Development of a Normobaric Hypoxia Chamber for Studies in Human Physiology

*Desarrollo de una Cámara de Hipoxia Normobárica para Estudios en Fisiología Humana*

*Desenvolvimento de uma Câmara de Hipóxia Normobárica para Estudos em Fisiologia Humana*

Endrigo Rosa de Carvalho<sup>I</sup>

Leandro Disiuta<sup>II</sup>

Eloy Vicente De La Barra Velasquez<sup>III</sup>

Júlio Cesar Marques de Lima<sup>IV</sup>

Thais Russomano<sup>V</sup>

## ABSTRACT

One of the great challenges faced by aviators is to realize the individual physiological effects caused by hypoxia. Hypoxia is the condition that the human body faces when it does not receive an adequate supplement of oxygen in the body tissues and cells. Deprivation of appropriate oxygenation leads to reduced cognitive and visual capacity, thereby leading to unconsciousness and even death in extreme cases. It is therefore required that aviators receive training to recognize such symptoms to ensure flight safety. This paper describes the development of a portable and low cost Normobaric Hypoxia Chamber (NHC). The NHC provides training in situations of hypoxia for aviators. To be portable and cost-effective, the NHC was constructed using a PVC pipe structure, coated with transparent vinyl canvas and fitted with latches to access and seal the internal atmosphere of the chamber from the rest of the environment. The NHC control system was designed to acquire signals from O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> sensors, to process and control the hardware of

the gas mixture actuators, which allow the oxygen concentration within the NHC to be changed, and to homogenize the air within the NHC and carry out the exhaustion of the interior of the chamber. The results show that the development of the CHN has fulfilled the prerequisites established in the project. The NHC can be used to train aviators under controlled conditions and to carry out research on human physiology related to hypoxia.

**Keywords:** Normobaric hypoxia chamber. Physiological changes. Training in hypoxia. Flight safety.

## RESUMEN

*Uno de los grandes desafíos enfrentados por los aviadores es percibir los efectos fisiológicos individuales causados por la hipoxia. La hipoxia es la condición que el cuerpo humano se enfrenta cuando no recibe un adecuado suplemento de oxígeno en los tejidos y las células del cuerpo. La privación de oxigenación adecuada ocasiona la reducción de la capacidad cognitiva y visual, pudiendo, en casos extremos,*

I. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brazil. Master in Electrical Engineering by PUCRS. E-mail: [endrigo@carvalho@gmail.com](mailto:endrigo@carvalho@gmail.com)

II. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brazil. Ph.D. in Aerospace Engineering by University of Tasmania (UTAS) – Austrália. E-mail: [ldisiuta@gmail.com](mailto:ldisiuta@gmail.com)

III. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brazil. Master in Electrical Engineering by PUCRS. E-mail: [eloy.velasquez@gmail.com](mailto:eloy.velasquez@gmail.com)

IV. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brazil. Ph.D. in Computer Science by Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: [prof.julio.lima@gmail.com](mailto:prof.julio.lima@gmail.com)

V. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brazil. Ph.D. in Space Physiology by King's College London (KCL) - Great Britain. E-mail: [trussomano@hotmail.com](mailto:trussomano@hotmail.com)

Received: 08/23/2016

Accepted: 12/08/2017

llevar a la inconsciencia y al óbito. Por lo tanto es necesario que los aviadores reciban entrenamiento con el objetivo de reconocer tales síntomas, a fin de garantizar la seguridad de vuelo. En este artículo se describe el desarrollo de una Cámara de Hipóxia Normobárica (CHN) portátil y de bajo costo. La CHN posibilita entrenamiento en situaciones de hipoxia para aviadores. Para ser portátil y de bajo costo, la CHN fue construida a través de una estructura en tubos de PVC, revestida con lona vinílica transparente y dotada de cierres para acceder y aislar la atmósfera interna de la cámara del resto del ambiente. El sistema de control de CHN está diseñado para adquirir señales de los sensores de  $O_2$  y  $CO_2$ , procesar y controlar el hardware de los actuadores responsables de la mezcla gaseosa, que permiten variaciones en la concentración de oxígeno dentro de la CHN y mezclar el aire dentro de la CHN y realizar el agotamiento del interior de la cámara. Los resultados obtenidos muestran que el desarrollo de CHN cumplió los requisitos previos establecidos en el proyecto. La CHN puede ser utilizada en la capacitación de aviadores en condiciones controladas y en la realización de investigaciones en fisiología humana, relacionadas a la hipoxia.

**Palabras clave:** Cámara hipoxia normobárica. Alteraciones fisiológicas. Entrenamiento en hipoxia. Seguridad de vuelo.

## RESUMO

Um dos grandes desafios enfrentados por aviadores é perceber os efeitos fisiológicos individuais causados pela hipóxia. A hipóxia é a condição que o corpo humano enfrenta quando não recebe um adequado suplemento de oxigênio nos tecidos e células do corpo. A privação de oxigenação adequada ocasiona, a redução da capacidade cognitiva e visual, podendo, em casos extremos, levar à inconsciência e ao óbito. Portanto é necessário que os aviadores recebam treinamento com o objetivo de reconhecerem tais sintomas, a fim de garantirem a segurança de voo. Este artigo descreve o desenvolvimento de uma Câmara de Hipóxia Normobárica (CHN) portátil e de baixo custo. A CHN possibilita treinamento em situações de hipóxia para aviadores. Para ser portátil e de baixo custo, a CHN foi construída por meio de uma estrutura em tubos de PVC, revestida com lona vinílica transparente e dotada de fechos para acessar e isolar a atmosfera interna da câmara do restante do ambiente. O sistema de controle da CHN foi projetado para adquirir sinais dos sensores de  $O_2$  e  $CO_2$ , processar e controlar o hardware dos atuadores responsáveis pela mistura gasosa, que permitem alterar a concentração de oxigênio no interior da CHN, e homogeneizar o ar dentro da CHN e realizar a exaustão do interior da câmara. Os resultados obtidos

mostram que o desenvolvimento da CHN cumpriu os pré-requisitos estabelecidos no projeto. A CHN pode ser utilizada na capacitação de aviadores em condições controladas e na realização de pesquisas em fisiologia humana, relacionadas à hipóxia.

**Palavras-chave:** Câmara hipóxia normobárica. Alterações fisiológicas. Treinamento em hipóxia. Segurança de voo.

## 1 INTRODUCTION

Hypoxia, characterized by inadequate supply of oxygen ( $O_2$ ) to the body tissues and cells, is a condition that aviators may face due to failures in an aircraft. As the symptoms of hypoxia vary among individuals, it is necessary for the crew to know their own signs and symptoms, in order to allow a possible anticipation of corrective actions, in case of an emergency in the flight.

In aviation, statistically, the type of hypoxia with the highest number of occurrences is hypoxic hypoxia, also known as altitude hypoxia. This situation is caused by the decrease of the atmospheric pressure, mainly due to the increase in altitude, since there is an inherently decrease in the partial pressure of oxygen. Altitude hypoxia has as its main signs and symptoms the gradual decrease in vision, hyperventilation, increased heart rate, decreased psychomotor functions, loss of discernment, semiconsciousness or even unconsciousness and, in more severe situations, can lead to death (RUSSOMANO, 2012).

Although aircraft accidents due to altitude hypoxia are rare (SELF et al., 2010), some cases of decompression of the aircraft that resulted in hypoxia, as in the case of the accident that occurred with the famous North American golfer Payne Stewart, on October 25th, 1999, in South Dakota can be mentioned (CABLE, 2003). Another case, with similar characteristics, occurred on August 2nd, 2005, during a flight of an aircraft of the company Cypriot Helios Airways, in which 110 passengers and 8 crew members died.

According to the Federal Aviation Administration (FAA) and the National Civil Aviation Agency of Brazil (ANAC), US and Brazilian government agencies, respectively, it is required that pilot training courses have subjects related to aerospace medicine, but only theoretical knowledge is required according

to the **MCA 58 - Manual of the Commercial Pilot Course - Airplane** developed by the then Ministry of Aeronautics (BRASIL, 2013a).

This article addresses the development of a Normobaric Hypoxia Chamber (NHC) capable of simulating hypoxia under normal pressure conditions, through the supply of an atmosphere with low concentration of oxygen for those inside the NHC; such concentration can be adjusted according to the altitude intended for simulation. The use of this Chamber allows pilots and their crew to carry out a practical training to test and know their own limits and to identify the symptoms in hypoxia condition, so as to act correctly in real situations of emergency during a flight. The NHC also allows the training of athletes (high performance) for better physical conditioning and adaptation to altitude (a very common situation, for example, with soccer players), as well as research related to human physiology and the aging process.

The NHC has interesting characteristics, such as the possibility of simultaneous training of more than one individual, besides an automatic control system that allows the simulation of different altitudes with the decrease of the oxygen concentration. Seeking to develop a NHC with different characteristics compared to those commercially available, the chamber structure was designed to be lightweight, easy to mount, disassemble and transport, whereby it can be installed in several places (without the requirement for special installation), as well such as being low cost.

The purpose for constructing the NHC was to make the simulation of hypoxia currently performed in the Microgravity Center of the Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul (PUCRS), which uses a Hypoxia Mask (to reduce oxygen supply) more real, since in an actual in-flight emergency situation, the mask, on the other hand, will be the adequate source of oxygen for crew members to eliminate the effects of altitude hypoxia. Therefore, in order to improve the training regarding the actions that must be performed by the crew, the ideal is to use a real environment, simulated by a closed chamber, where the atmosphere has low concentration of oxygen and in which flight simulators and other experiments can be adapted to evaluate the concentration and changes in the cognitive process of the crew.

In the scientific literature, it is possible to find several studies on altitude hypoxia, in which the

signs and symptoms occurring in humans submitted to an atmosphere with low concentration of oxygen are described. In these works, it is always emphasized the fact that everyone has a different reaction when subjected to hypoxic hypoxia (THE AVIATORS ..., 2012), which justifies the need for a practical physiological training to recognize the individual effects and the dangers that they can cause to flight safety.

## 2 PURPOSE

The purpose of the present work is to develop a Normobaric Hypoxia Chamber at the Microgravity Center - MicroG, at PUCRS. This paper discusses the concept, design, mechanical and structural components, including how the air mixture with low concentration of oxygen is generated for users, instruments used and the software adapted for their control and safety mechanisms.

## 3 MATERIALS AND METHODS

For the development of the NHC, a review of literature was carried out, addressing the most relevant aspects related to aviation hypoxia, as well as the different hypoxia simulation methods and existing equipment.

### 3.1 Hypoxia

Oxygen is the main source of life for humans, responsible for providing energy to cells and tissues. The decrease in an adequate supply of oxygen to cells and tissues, caused by different factors, is called hypoxia. The human being exposed to this situation can have a severe deterioration of the body systems, in particular the central nervous system (especially cells of the brain), causing symptoms like reduction of the visual functions, psychomotor and cognitive alterations and, in extreme cases, loss of consciousness and death (DAVIS et al., 2008; ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

The type of hypoxia that most affects aeronauts is known as hypobaric or hypoxic hypoxia, which is the result from any and all environmental occurrences. Under this condition, there is a reduction in the partial blood pressure of  $O_2$  ( $PA_{O_2}$ ), causing a reduction in oxygen diffusion through



the alveoli-pulmonary membrane, which results in a decrease in the amount of gas available for the oxygenation of tissues and cells. This type of hypoxia may occur acutely when there is immediate exposure to a minor pressure environment where there is no time for the body to compensate the hypoxia effects (e.g., decompression in flight), or in a chronic way, where there is a progressive exposure, in which there is a period of compensation by the organism. (e.g., mountain climbing) (COSTA, PROTÁSIO, BRASILEIRO, 2009, ERNSTING, GRADWELL, 2006, HARDING, 2012).

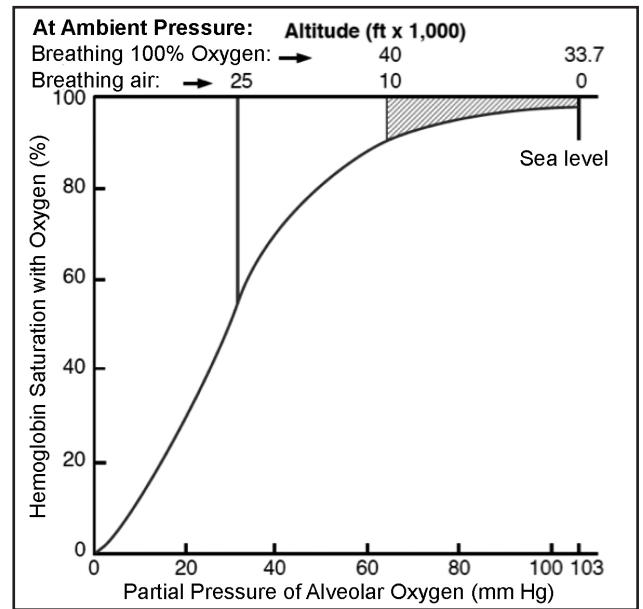
As the altitude increases, there is a decrease in the barometric pressure (Pb) and, consequently, in the partial pressure of the atmospheric gases. The decrease in the partial pressure of the inspired oxygen (PI<sub>O2</sub>) causes a reduction in the partial pressure of the alveolar oxygen (PA<sub>O2</sub>). The difference between PI<sub>O2</sub> and PA<sub>O2</sub> is shown in Equation 1 (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

$$PI_{O_2} - PA_{O_2} = PaCO_2 \left( FI_{O_2} + \frac{1 - FI_{O_2}}{R} \right) \quad (1)$$

Where FI<sub>O2</sub> represents the fraction of inspired oxygen and R the breathing rate. PaC<sub>O2</sub> is produced by the rate of CO<sub>2</sub> production in alveolar ventilation. This rate will remain constant up to 10,000 ft. Above that altitude, PA<sub>O2</sub> drops to levels that trigger respiratory stimulation via arterial chemoreceptors (hyperventilation). This is a protective measure to minimize the effects of hypoxia on the decrease of PA<sub>O2</sub> and, consequently, on hemoglobin saturation, as can be seen in Table 1 (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012).

The hemoglobin dissociation curve (Figure 1) (relationship between the oxygen saturation curve for Sp<sub>O2</sub> and PI<sub>O2</sub>) shows that up to 10,000 ft a large elevation in altitude leads to a small variation of Sp<sub>O2</sub> and, above 10,000 ft, a small increase in altitude causes a large Sp<sub>O2</sub> drop and the worsening of hypoxia symptoms (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

Figure 1 – Hemoglobin dissociation curve.



Source: Adapted from Harding (2012).

The symptoms of hypobaric hypoxia are divided into four stages. The **indifferent stage** occurs from the ground up to 10,000 ft (or from the ground up to 39,000 ft with 100% O<sub>2</sub> supplementation), in which the individual is still able to adapt without the need for oxygen supplementation. However, the vision is affected, especially at night. On a night flight at 5,000 ft, 5%

Table 1 – Typical values for hemoglobin pressure and saturation of a healthy subject exposed to hypoxia.

Altitude (ft)	C <sub>2</sub> Concentration (%)	Barometric pressure (Pb) (mm Hg)	Inspired O <sub>2</sub> partial pressure (PI <sub>O2</sub> ) (mm Hg)	Partial pressure of O <sub>2</sub> in arterial blood (PA <sub>O2</sub> ) (mm Hg)	Saturation of hemoglobin (SpO <sub>2</sub> ) (%)
0,000	20,95	760	148	95	96
8,000	15,54	565	108	56	92
15,000	11,81	429	80	37	79
18,000	10,45	380	69	32	63
20,000	9,61	349	63	29	44

Source: Ernsting and Gradwell (2006).

to 10% of vision is lost, at 10,000 ft, 15% to 25% and above 12,000 ft, from 25% to 30%. There is also an increase in metabolism with greater caloric burning (COSTA, PROTASIO, BRASILEIRO, 2009; RUSSOMANO, 2012).

The **compensatory stage** occurs from 10,000 ft to 15,000 ft (or from 39,000 ft to 42,500 ft with 100% O<sub>2</sub>). The body tends to compensate for the effects of hypoxia through respiratory and cardiovascular responses, such as hyperventilation and increased heart rate. The main symptoms are drowsiness, alterations in judgment, motor incoordination, slower reasoning, feeling of **well-being** (a certain euphoria), which is the most dangerous sign, since it prevents the individual to take emergency measures (COSTA; PROTÁSIO; BRASILEIRO, 2009; RUSSOMANO, 2012).

The **disturbed stage** is verified from 15,000 ft to 20,000 ft (or from 42,500 ft to 45,000 ft with 100% O<sub>2</sub>). During this stage, the compensation made by the body is no longer satisfactory. The main symptoms are strong hyperventilation, tachycardia and severe headache. There are alterations in the psychomotor functions, such as a significant increase in reaction time, muscular incoordination and motor incoordination, changes in cognitive functions, such as impairment of performance to new tasks, short and long term memory and logical reasoning impairment, difficulty in solving simple math tasks, loss of judgment, and alteration in visual function as a reduction of perception to light intensity. Visual acuity is decreased with low light and loss of peripheral vision (tunnel vision) (COSTA; PROTÁSIO; BRASILEIRO, 2009; RUSSOMANO, 2012).

At **critical stage** (above 20,000 ft or 45,000 ft with 100% O<sub>2</sub>), there is a weakening of the cardiopulmonary and nervous systems, accentuation of the symptoms that occur at the disturbed stage. There is a rapid decrease in mental performance and unconsciousness may occur with little or no symptom, seizures characterized

by muscle contractions that produce opisthotonus (head, arm, neck, and spine form a concave backward position), preceded or followed by one or more muscle spasms, semiconsciousness, unconsciousness and death (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

The interval between decreasing oxygen demand to the moment the individual loses the ability to make (protective and corrective) decisions is called Effective Performance Time (EPT). In practice, the most accepted concept is the period that the affected individual retains the ability to correctively act on difficult situations (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

A pilot who flights at 15,000 ft will have 30 minutes or more to recognize symptoms and (or) signs of hypoxia and take action to save passengers and crew from an accident, but that pilot will have a maximum of 20 seconds if flying at 40,000 ft. The effective performance time is shown in Table 2 (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

### 3.2 Hypoxic Hypoxia Simulation Methods

Hypoxic hypoxia can be generated in two ways. The first is the change in environmental pressure, which will lead to a decrease in the partial pressure (P<sub>I<sub>O<sub>2</sub></sub>) that oxygen will exert in the gas diffusion from the lungs to the blood. This type of environment can be simulated in hypobaric chambers. The second form, which will be used in the chamber developed in this work, is obtained by the change in the oxygen volume fraction in the environment. The oxygen volume fraction is directly proportional to the partial pressure exerted by it, so a decrease in the volume of oxygen will consequently decrease the partial pressure exerted on the gas diffusion of the alveoli into the blood. This environmental change can be simulated in normobaric chambers.</sub>

**Table 2** – Relationship between TDE, altitude and O<sub>2</sub> concentration.

Altitude (ft)	O <sub>2</sub> Concentration (%)	Effective performance time EPT (s)
15,000	11,81	1800 or more
18,000	10,45	1200 to 1800
22,000	8,83	300 to 600
25,000	7,76	180 to 360
28,000	6,80	150 to 180
30,000	6,21	60 to 180
35,000	4,92	30 to 60
40,000	3,87	15 to 20
50,000	-	6 to 9

**Source:** Russomano (2012).

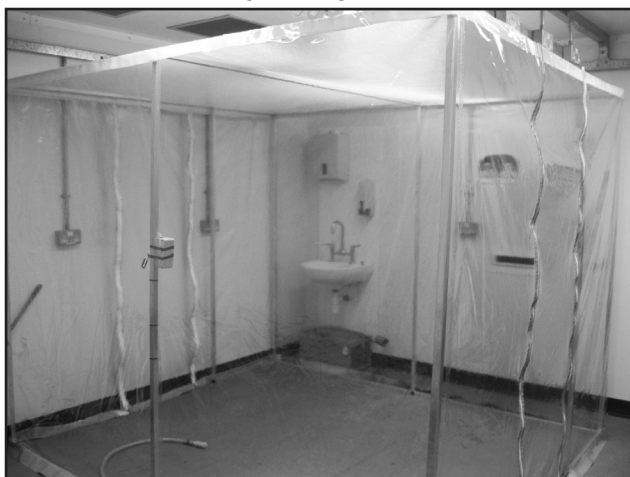
According to the International Standard Atmosphere (ISA), the standard values for barometric pressure and oxygen concentration at sea level are 760 mmHg and 21%, respectively. In a healthy person, hemoglobin saturation ( $Sp_{O_2}$ ) at sea level is approximately 98% to 99% (RUSSOMANO, 2012).

### 3.2.1 Normobaric hypoxia chamber (NHC)

The NHC or hypoxic tent consists of a room in which there is an insertion of a gaseous mixture, usually nitrogen, with pressure equal to the atmospheric pressure. As there is no variation in pressure, its structure can be constructed as a fully enclosed tent, which may have a plastic or aluminum structure and nylon casing (COLORADO ALTITUDE TRAINING, 2010; HYPOXICO ALTITUDE TRAINING SYSTEMS, 2010).

For this work, hypoxic chambers developed in universities in England and in the United States were investigated. King's College London has a chamber for research on human physiology in extreme environments. This chamber has approximately 9m<sup>2</sup>, it is constructed of transparent PVC plastic with aluminum structure, it has openings sealed with zippers (Figure 2), and capacity to host 10 people. The generation of depleted air in oxygen is done through the Training With Altitude Air Generator (TWAAG) equipment. Air monitoring inside the NHC is performed by gas sensors.

**Figure 2** – NHC of King's College London in the UK.



**Source:** The authors.

Embry-Riddle Aeronautical University in the United States also has a normobaric hypoxia chamber

manufactured by CAT Altitude Training company. It is constructed of polypropylene plates and aluminum structure, being mounted on a wooden structure elevated above the ground, to allow electrical wiring underneath. It measures approximately 9.6 m<sup>2</sup> and it also has an antechamber. The structure can be used by 9 individuals, besides the possibility of use as a flight simulator. The generation of gas mixture is done with CAT Air Unit equipment. The monitoring is performed by two oxygen sensors, a carbon dioxide sensor, a pressure sensor and a temperature sensor (COLORADO ALTITUDE TRAINING, 2010).

### 3.2.2 Hypobaric hypoxia chamber

The Hypobaric Hypoxia Chamber (HHC) consists of a room, in which there is an ambient pressure drop. Its operation consists of using vacuum valves to reduce the pressure inside the chamber, simulating the ambient pressure corresponding to the desired altitude. Its construction, operation and maintenance involve more complexity and costs compared to hypoxic normobaric chambers, without the possibility of mobility. Figure 3 illustrates the Hypobaric Chamber of the Brazilian Air Force (FAB).

**Figure 3** – HHC of the Brazilian Air Force.



**Source:** Brasil (2013b).

Comparing HHC and NHC regarding structure, HHC has an extremely complex, robust and heavy structure, unlike NHC, which is lighter and can be modulated and easily transportable.

According to Self (2010), after several physiological tests and measured parameters, it has been concluded that NHC is as efficient as HHC for physiological training in hypoxia, with the advantage of having much lower cost and being safe because it decreases the chance of barotrauma and decompression sickness.

### 3.2.3 Hypoxia mask

Hypoxia masks receive the preselected gaseous mixture through a **simulated** altitude cylinder or generator. Unlike other training modes, the mask does not require infrastructure for its use, which makes the construction, installation and maintenance less costly.

For the training of students of the Aeronautical School of Sciences of PUCRS, the Microgravity Center (MicroG) has developed this system, which is composed of an oxygen mask, silicone trachea, manual selector valve, latex balloon, a medical O<sub>2</sub> cylinder to 100% for use in emergencies, and gas mixture cylinders (O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> balancing) (Figure 4).

**Figure 4** – MicroG hypoxia mask.



Source: The authors.

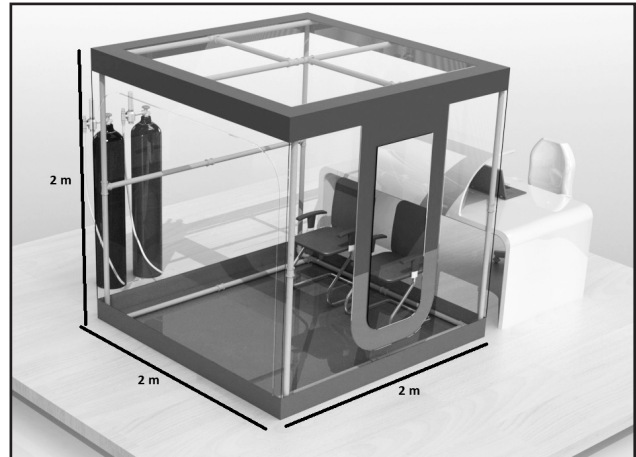
## 3.3 Development of the Normobaric Hypoxia Chamber

The NHC developed at the Microgravity Center has as its final objective the physiological training of pilots and crew in hypoxia and studies of the behavior of the body at high altitudes, through research protocols. Based on this objective, it was found that

the NHC should have the following characteristics: material that allows it to be dismountable, easy to transport and as light as possible, whereby its mass should not exceed 150 kg. The NHC should still have enough dimensions to allow its use by two volunteers and also include treadmill, exercise bike or cycle ergometer with maximum dimensions of 1.12 m x 0.53 m x 1.13 m. The material of the structure should be impermeable.

From these prerequisites, it was defined that the NHC would have minimum dimensions of height, width and depth of 2 m, as well as light and transparent structure. A design was developed using CAD software (Figure 5). The development of NHC and its control required the creation of dedicated hardware, software and firmware platforms. In the end, each part was integrated into the control system.

**Figure 5** – Computer-generated design of the MicroG Normobaric Hypoxic Chamber.



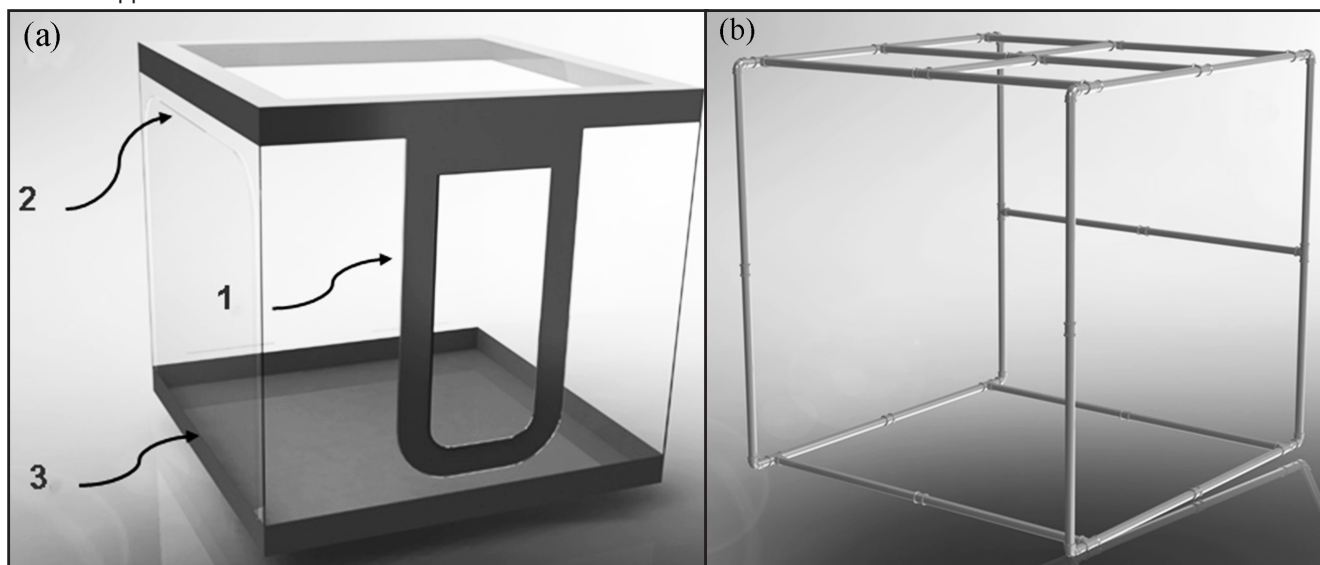
Source: The authors.

### 3.3.1 Design of the main structure

The NHC was then developed with PVC pipe structure of 40 mm in diameter and coated with vinyl canvas. The biggest advantage of this material is that it can be assembled and disassembled in a few minutes, as well as being lightweight and cost effective. The weight of the structure made of PVC pipes is about 15 kg. Figure 6 (b) shows, the internal structure for NHC support.

A vinyl canvas kp1400 was used in the base coating composition; kp1000 vinyl canvas on the walls; and the **crystal laminate 60** was used for the transparent parts, all containing 0.6 mm thickness and density of 0.2 g/cm<sup>3</sup>. The total dimension of the coating is 24 m<sup>2</sup> and its mass is 48 kg, according to Figure 6 (a).

**Figure 6** – (a) Frontal schematic view of the NHC coating. 1: Main entrance; 2: Secondary Entrance; and 3: Zipper. (b) Simulated internal support structure in software.



**Source:** The authors.

The main entrance was developed in U-shape, with width of 0.8 m and height of 1.6 m, sealed with zipper, aiming to allow a quick opening in case of emergency. For the insertion of equipment and objects of the NHC, such as stretchers, chairs and medical equipment, a secondary door was developed, with approximate dimensions of 1.87 m of height x 1.62 m of width.

In order to be able to view the individual from the outside of the chamber, the walls were designed with transparent PVC (60-crystal laminate), except in the reinforcement areas that are in contact with the tubes. For these sites the use of opaque PVC (kp1000 vinyl canvas) was projected, since there is greater resistance. With the intention of having better lighting in the interior, the ceiling was also designed with transparent PVC.

The inlet and outlet of the gas tubes and the electrical wiring were designed to be inserted into the chamber by means of two zipper openings at the rear, measuring 0.4 m. To facilitate the assembly of the structure, a zipper was placed in the lower part of the coating, making it possible to separate the floor from the walls.

### 3.3.2 Sensors

For the control of the gas mixture inside the NHC, an O<sub>2</sub> sensor and a CO<sub>2</sub> sensor were used. The oxygen sensor is a PSR-11-915-2 model from Analytical

Industries. The output ranges from 23  $\mu$ A to 30  $\mu$ A and it is equivalent to the 0% to 100% O<sub>2</sub> scale. The response is less than 20 seconds to reach 90% of the measured value and its service life is 60 months.

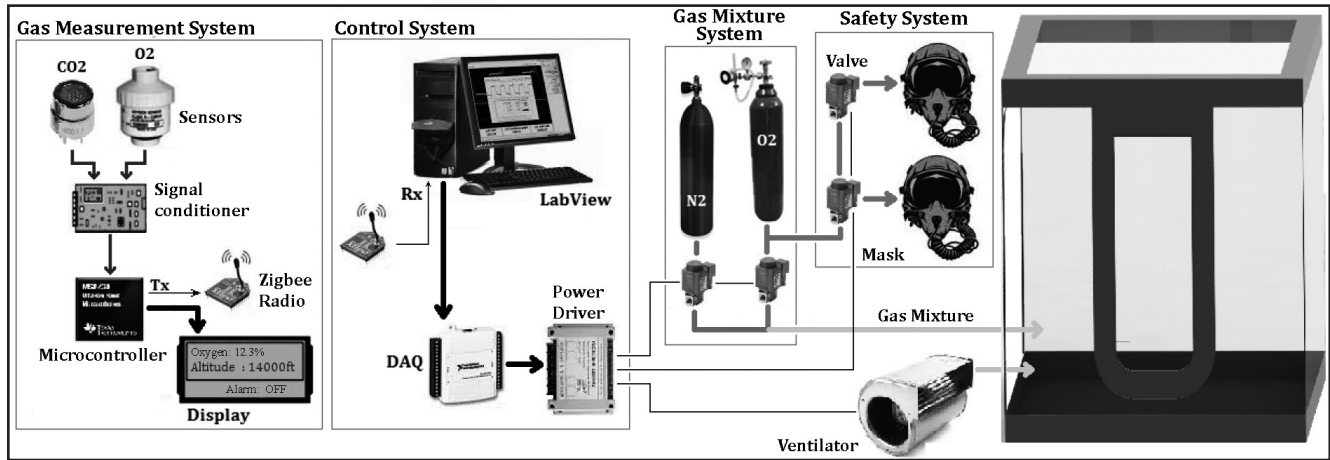
The CO<sub>2</sub> sensor used is a MG811 model from Parallax. The sensor operates by electrolytic principles, where the gas activates the internal heating element, generating a small voltage at the output, in the same proportion as the amount of gas exposed to the air. This sensor requires a voltage that can vary from 6.5 V to 12.0 V.

### 3.3.3 CHN Hardware

The NHC hardware consists of two parts: one responsible for the reading of the gas sensors and communication, and the other for the control of the valves and the air homogenization fan, and therefore for the O<sub>2</sub> concentration, as shown in Figure 7.

For the automatic control of gas opening and closing, a two-way VSMA-1422 solenoid valve was used. The gas measurement system consists of an oxygen sensor PSR-11-915-2, a CO<sub>2</sub> sensor MG811 and a board using 16-bit microcontroller from the MSP430 family of Texas Instruments dedicated to instrumentation and reading of these sensors. This board is also responsible for transmitting the sensor data, via a Zigbee radio, to a computer in which the control software developed on the LabView platform is executed.

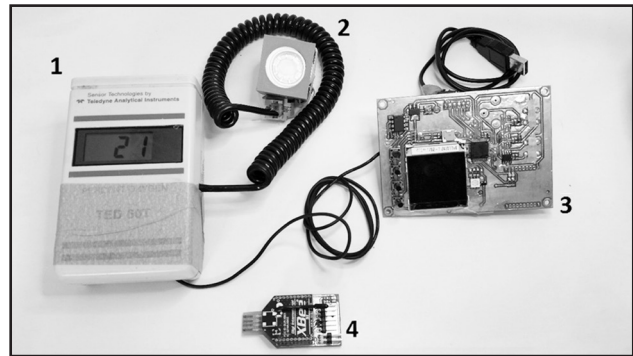
**Figure 7 – NHC hardware schema.**



Source: The authors.

This electronic board was designed in CAD software (Altium Designer) and machined with a CNC LPKF S63 two-layer milling machine. For the user interface, a keyboard containing four buttons was added, including a graphic display and a buzzer for warning signaling (Figure 8). A portable oximeter model TED 60T was used to check the gas measurement system.

**Figure 8 – Hardware.** 1: Portable Oximeter; 2: Oxygen Sensor; 3: Developed electronic board; and 4: Zigbee module.



Source: The authors.

The electrical triggering of the gas control valves and the air homogenization fan is done using a DAQ board of the National Instruments model USB-2006, connected to a computer that processes the sensor information to obtain the ratio of O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> desired. The DAQ module is connected to a ULN2003 driver, which allows the driving of nine relays. To accommodate the printed circuit board, a plastic box was used, the front cover being replaced by one designed in the SolidWorks software and printed on the 3D MakerBot 2X printer, in which terminals for the electrical connection were inserted.

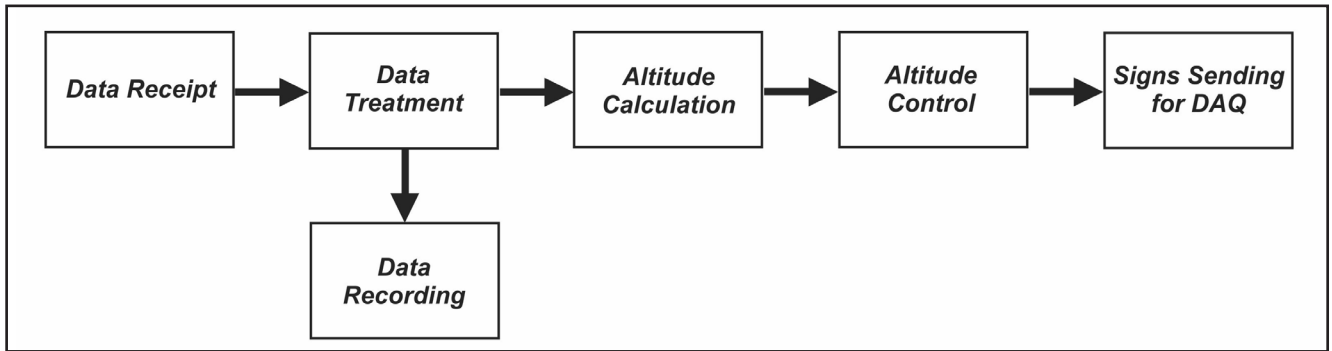
To ensure the homogenization of the gas mixture, a fan (009-B40-22", manufacturer SPAL) was used. During and after the use of the NHC, the gas mixture needs to be exhausted to an external environment, so an Elgin MC-11B ventilator has been adapted along with a base (connector support), connector and flexible hoses. To adapt them to the system, it was necessary to print some parts on the 3D Makerbot 2X printer in ABS material. For safety, masks with 100% medical oxygen were made available inside the chamber. The mask used in the oxygenation system is the MBU-12/P type, from GENTEX, provided by FAB for this project.

### 3.3.4 NHC Firmware

The firmware was developed in C programming language, using the Eclipse development environment for programming the MSP430F2619 processor. For a more robust performance of the firmware, i.e., fail-safe when sending packages to the software, the handshake transmission mode has been deployed.

### 3.3.5 NHC Software

Software was developed in the LabView development platform, having as its main function to control all the systems involved in the project and to be the Graphical User Interface (GUI) with the system. It receives data packages sent by the sensing system, processes the data, writes it to a text file, calculates and controls the gases according to the altitude set-point and, finally, sends the signals to the control system. Figure 9 shows the software block diagram.

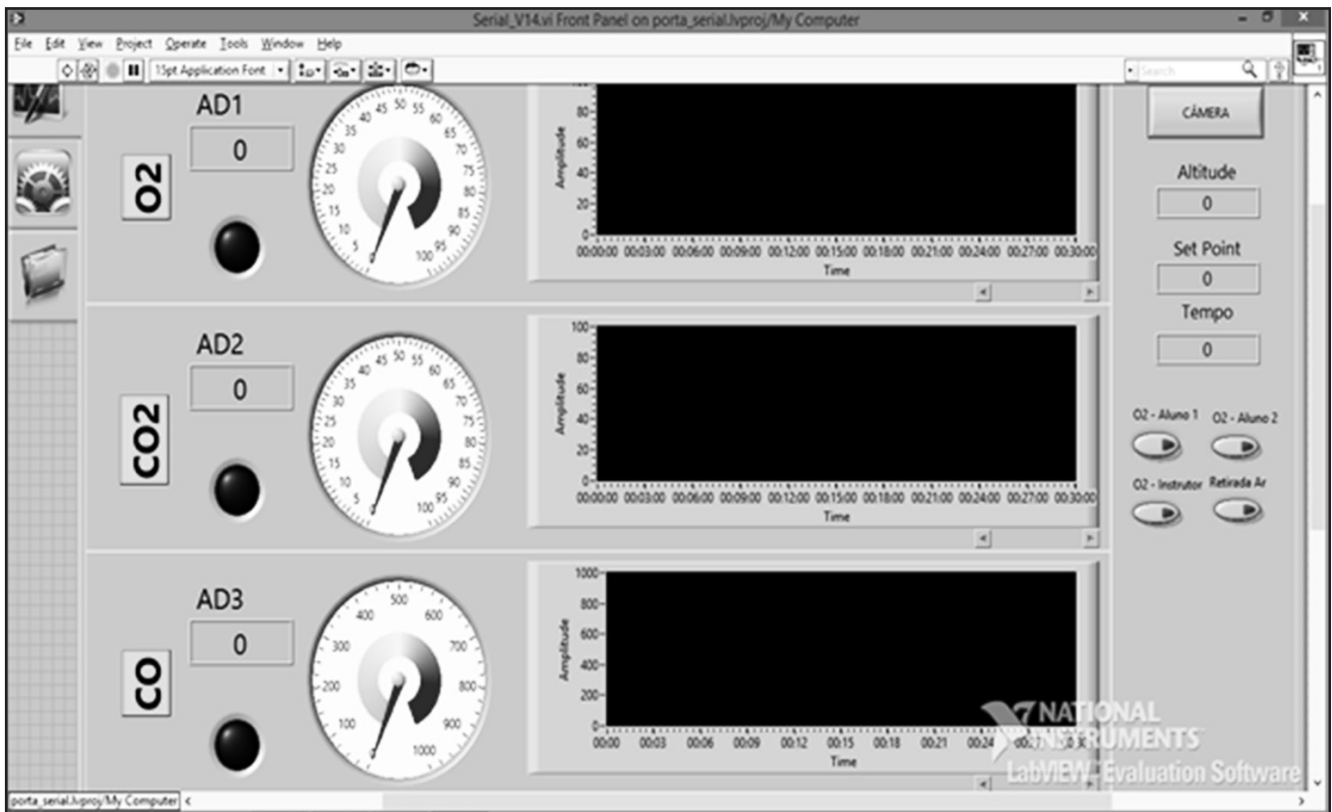
**Figure 9** – Block diagram of the software.

**Source:** The authors.

The software starts by means of the data reception block, which will then receive the data packages sent by a serial port (COM) of the sensing system. Then, the received data package is checked, and at the end the data package is allocated in the **Value Accepted** variable. The values of  $O_2$ ,  $CO_2$  and  $CO$  can be recorded in a text file, according to the user's needs.

The software was designed with three screens. The viewer screen is the main one, where the user visualizes the values of the main parameters

of the system, such as  $O_2$ ,  $CO_2$  and  $CO$ , besides activating the Webcam module and solenoid valves of the security system. The system configuration screen is responsible for all software configuration, including alarm limits, serial port, and recording addresses. The input screen is responsible for the insertion of altitude set-points with the possibility of automatic or manual input, in addition to enabling the activation of all equipment managed by the control system. In Figure 10, the main screen is shown.

**Figure 10** – Main screen of the developed software.

**Source:** The authors.

### 3.3.6 NHC control system

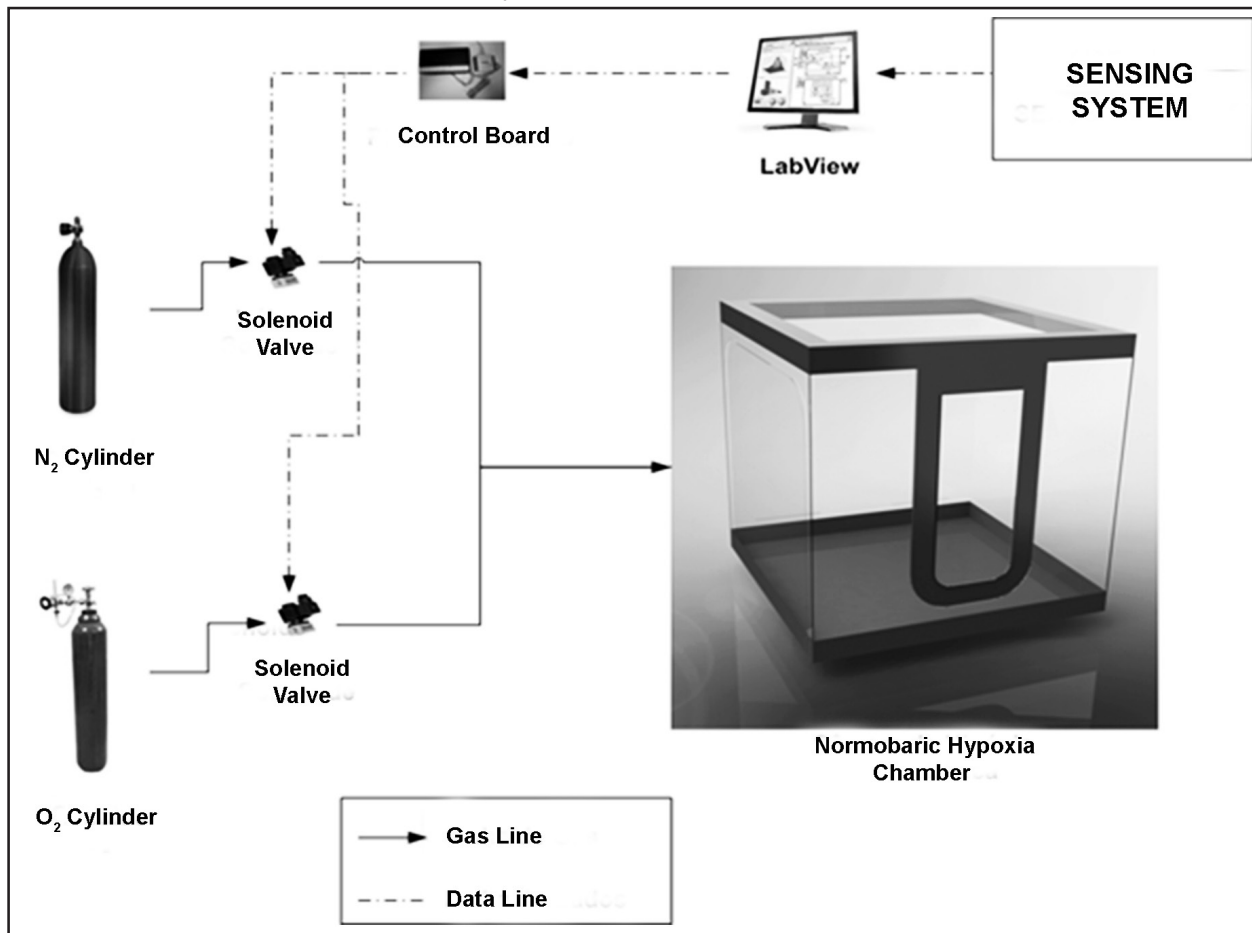
In order to determine the gas mixture inside the NHC, which generates a hypoxic environment, according to pre-established requirements in training or research protocols, a controlled gas delivery system was developed, integrating the software, hardware and firmware. In addition to these components, the system consists of oxygen and nitrogen cylinders, solenoid valves and compressed air hoses. In Figure 11, it is possible to visualize an illustrative scheme of the control system.

## 4 RESULTS AND DISCUSSION

For the development of this project, the following characteristics were defined for the NHC: to be detachable and easy to transport; have a mass of less than 150 kg; have transparent structure; be made of waterproof material; and contain sufficient dimensions to permit the simultaneous use of two volunteers, and also include a treadmill and (or) an exercise bike and (or) a cycle ergometer.

For the development of the structure, PVC pipes were chosen because they are a light material, low cost compared to other materials analyzed (aluminum and wood) and because they fulfill the prerequisite of being detachable and easy to transport. The chosen coating was vinyl canvas Kp1000, Kp1400 and **crystal** laminate 60 because it is impermeable and allows an internal view of the outside, fulfilling the prerequisite of having a transparent structure and using impermeable material. Regarding the dimensions, there were no changes in relation to the initial design, i.e., the stipulation was maintained, the 2 m x 2 m x 2 m dimension, which is appropriate for the training of pilots and athletes, and may involve the simultaneous use of two volunteers and a piece of equipment for physical exercises. The weight of the complete structure is around 63 kg, thus it is lower than the prerequisite referring to its maximum weight. Therefore, this has proven that the concept and design of the NHC successfully followed the prerequisites established at the beginning of the project.

Figure 11 – Illustrative scheme of the control system.



Source: The authors.



To ensure the safety and correct operation of the hardware control system, a seal test and a hardware control test was developed, as described below. The sealing test (Figure 12) was comprised in the application of white smoke inside the chamber, resulting in the visual verification of leaks, considered minimal, located on the zippers of the openings, concluding that the NHC is safe to use. However, individuals who stay around the chamber during research protocols or training should also take precautions, such as monitoring oxygen saturation in the blood, by means of oximetry to avoid undesired hypoxia. It is recommended that the enclosure where the NHC is installed is well ventilated, avoiding to lead individuals who are near to the equipment to hypoxia.

**Figure 12** – Sealing test in NHC.



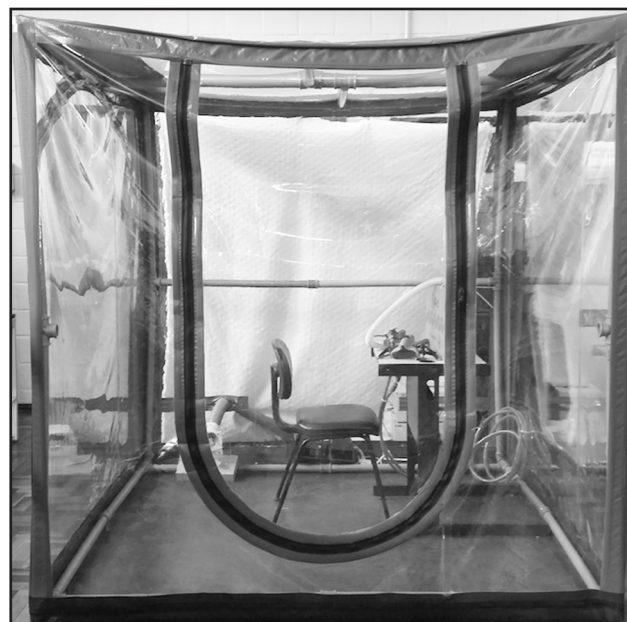
**Key:** On the right side, one can see the NHC completely filled with white smoke. On the left side, there is minimal visual leakage through the zipper. Such leaks are compensated by the control system.

**Source:** The authors.

The bench test of the operation of the hardware control system was performed in order to verify the correct operation and eventual overheating of the hardware control module. The first result showed that when turning on or off coils and engines, noise was generated, causing problems in the DAQ module. To solve this problem, filters were added to the output of the hardware control module. No overheating in the hardware control module occurred. An improvement implemented, compared to the chambers surveyed, is in the safety aspect. The NHC performs CO<sub>2</sub> control through its embedded sensors, and once the CO<sub>2</sub> level reaches a pre-programmed critical level, an audible alarm is triggered for safety actions to be taken. Such actions consist of opening the chamber and immediate supplementation of oxygen to the individuals inside it.

The NHC developed presented a low development and design cost in relation to the chambers surveyed. In comparison to the chamber developed in King's College London, the NHC had a total cost of only 4% of it. Compared to the FAB chamber, the cost was around 6%, while in relation to the Embry-Riddle university chamber, it was 14%. The final version of the NHC can be seen in Figure 13.

**Figure 13** – Final version of the NHC.



**Source:** The authors.

## 5 CONCLUSION

At the end of this project, the physical structure was developed using tubes and vinyl canvas, hardware and firmware, responsible for the gas measurement system and hardware for the control of the valves and of the air homogenization fan. Other developments include software for system control and user **interface** and, finally, the gas delivery system. A test was also carried out to ensure that the structure was sealed and the perfect operation of the hardware control system. It can be concluded, therefore, that the conception and design stages successfully followed all the prerequisites, and that the NHC is safe and secure to use.

The main highlight of this project was in terms of cost, compared to other chambers researched, which allow universities and aeroclubs to acquire the NHC and, consequently, complement pilot training and conduct new aerospace research by opening a field for future studies and positively impact the safety of civil and military aviation.

The NHC can also be used for athlete training and HAST (Hypoxia-Altitude Simulation Test) in patients with respiratory diseases, which increases its applications.

## REFERENCES

THE AVIATORS, terceira temporada, sexto episódio: anatomy of a commercial flight. Produção de FourOints Television, 2012.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Instituto de Aviação Civil. **Aviação Civil**: manual de curso piloto comercial – avião. Brasília – DF: Instituto de Aviação Civil, 2013a. 189 p.

\_\_\_\_\_. Instituto de Medicina Aeroespacial Brigadeiro Médico Roberto Teixeira. **Instrução na câmara hipobárica**. 2013b. Disponível em: <<http://www2.fab.mil.br/imaie/index.php/imagens/event/CmaraHipobrica#2>>. Acesso em: 4 set. 2014.

CABLE, G. G. In-flight hypoxia incidents in military aircraft: causes and implications for training. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, v. 74, n. 2, p. 169-172, 2003. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/asma/asem/2003/00000074/00000002/art00010>>. Acesso em: 4 fev. 2016.

COLORADO ALTITUDE TRAINING. **Altitude simulation system for pilots**: the CAT hypoxic aviation system™. Louisville, CO: Colorado Altitude Training, 2010.

COSTA, J. C.; PROTÁSIO, K. L.; BRASILEIRO, M. E. A hipóxia é a principal alteração fisiológica

no transporte aeromédico. **Revista Eletrônica de Enfermagem do Centro de Estudos de Enfermagem e Nutrição**, v. 1, n. 1, p. 1-15, jan./jul. 2009.

DAVIS, J. R. et al. **Fundamentals of aerospace medicine**. 4th ed. [S.l.]: Ed. Wolters Kluwer, 2008. p. 30-45.

ERNSTING, J. ; GRADWELL, D. P. **Ernsting's aviation medicine**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. 864 p.

HARDING, R. M. Pressure changes and hypoxia in aviation. **Medical Aspects of Harsh Environments**, v. 2, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.cs.amedd.army.mil/borden/Portlet.aspx?ID=7c0ebab2-6720-4e15-883b-dbfaafa960f9>>. Acesso em: 28 jun. 2014.

HYPOXICO ALTITUDE TRAINING SYSTEMS. **Hypoxico K2 high flow system**. New York: [s.n.], 2010.

RUSSOMANO, T. **Fisiologia aeroespacial**: conhecimentos essenciais para voar com segurança. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

SELF, D. A. et al. **Physiological equivalence of normobaric and hypobaric exposures of humans to 25,000 feet**: final report. Washington: Civil Aerospace Medical Institute, 2010.

# Desarrollo de una Cámara de Hipoxia Normobárica para Estudios en Fisiología Humana

*Development of a Normobaric Hypoxia Chamber for Studies in Human Physiology*

*Desenvolvimento de uma Câmara de Hipóxia Normobárica para Estudos em Fisiologia Humana*

Endrigo Rosa de Carvalho<sup>I</sup>

Leandro Disiuta<sup>II</sup>

Eloy Vicente De La Barra Velasquez<sup>III</sup>

Júlio Cesar Marques de Lima<sup>IV</sup>

Thais Russomano<sup>V</sup>

## RESUMEN

Uno de los grandes desafíos enfrentados por los aviadores es percibir los efectos fisiológicos individuales causados por la hipoxia. La hipoxia es la condición que el cuerpo humano se enfrenta cuando no recibe un adecuado suplemento de oxígeno en los tejidos y las células del cuerpo. La privación de oxigenación adecuada ocasiona la reducción de la capacidad cognitiva y visual, pudiendo, en casos extremos, llevar a la inconsciencia y al óbito. Por lo tanto es necesario que los aviadores reciban entrenamiento con el objetivo de reconocer tales síntomas, a fin de garantizar la seguridad de vuelo. En este artículo se describe el desarrollo de una Cámara de Hipóxia Normobárica (CHN) portátil y de bajo costo. La CHN posibilita entrenamiento en situaciones de hipoxia para aviadores. Para ser portátil y de bajo costo, la CHN fue construida a través de una estructura en tubos de PVC, revestida con lona vinílica transparente y dotada de cierres para acceder y aislar la atmósfera interna de la cámara del resto del ambiente. El sistema de control de CHN está diseñado para adquirir señales de los

sensores de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, procesar y controlar el hardware de los actuadores responsables de la mezcla gaseosa, que permiten variaciones en la concentración de oxígeno dentro de la CHN y mezclar el aire dentro de la CHN y realizar el agotamiento del interior de la cámara. Los resultados obtenidos muestran que el desarrollo de CHN cumplió los requisitos previos establecidos en el proyecto. La CHN puede ser utilizada en la capacitación de aviadores en condiciones controladas y en la realización de investigaciones en fisiología humana, relacionadas a la hipoxia.

**Palabras clave:** Cámara hipoxia normobárica. Alteraciones fisiológicas. Entrenamiento en hipoxia. Seguridad de vuelo.

## ABSTRACT

*One of the great challenges faced by aviators is to realize the individual physiological effects caused by hypoxia. Hypoxia is the condition that the human body faces when it does not receive an adequate supplement of oxygen in the body tissues and cells. Deprivation of appropriate oxygenation*

I. Pontifícia Universidad Católica de Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. Maestría en Ingeniería Eléctrica por la PUCRS. Email: [endrigo@carvalho@gmail.com](mailto:endrigo@carvalho@gmail.com)

II. Pontifícia Universidad Católica de Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. Candidato doctoral en Ingeniería Aeroespacial por la Universidad de Tasmania (UTAS) – Australia. Email: [ldisiuta@gmail.com](mailto:ldisiuta@gmail.com)

III. Pontifícia Universidad Católica de Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. Maestría en Ingeniería Eléctrica por la PUCRS. Email: [eloy.velasquez@gmail.com](mailto:eloy.velasquez@gmail.com)

IV. Pontifícia Universidad Católica de Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. Doctorado en Computación por la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS). Email: [prof.julio.lima@gmail.com](mailto:prof.julio.lima@gmail.com)

V. Pontifícia Universidad Católica de Rio Grande do Sul (PUCRS) – Porto Alegre/RS – Brasil. PhD en Space Physiology por Kings College de Londres (KCL) - Gran Bretaña. Email: [trussomano@hotmail.com](mailto:trussomano@hotmail.com)

Recibido: 23/08/2016

Aceptado: 08/12/2017

leads to reduced cognitive and visual capacity, thereby leading to unconsciousness and even death in extreme cases. It is therefore required that aviators receive training to recognize such symptoms to ensure flight safety. This paper describes the development of a portable and low cost Normobaric Hypoxia Chamber (NHC). The NHC provides training in situations of hypoxia for aviators. To be portable and cost-effective, the NHC was constructed using a PVC pipe structure, coated with transparent vinyl canvas and fitted with latches to access and seal the internal atmosphere of the chamber from the rest of the environment. The NHC control system was designed to acquire signals from  $O_2$  and  $CO_2$  sensors, to process and control the hardware of the gas mixture actuators, which allow the oxygen concentration within the NHC to be changed, and to homogenize the air within the NHC and carry out the exhaustion of the interior of the chamber. The results show that the development of the CHN has fulfilled the prerequisites established in the project. The NHC can be used to train aviators under controlled conditions and to carry out research on human physiology related to hypoxia.

**Keywords:** Normobaric hypoxia chamber. Physiological changes. Training in hypoxia. Flight safety.

## RESUMO

Um dos grandes desafios enfrentados por aviadores é perceber os efeitos fisiológicos individuais causados pela hipóxia. A hipóxia é a condição que o corpo humano enfrenta quando não recebe um adequado suplemento de oxigênio nos tecidos e células do corpo. A privação de oxigenação adequada ocasiona, a redução da capacidade cognitiva e visual, podendo, em casos extremos, levar à inconsciência e ao óbito. Portanto é necessário que os aviadores recebam treinamento com o objetivo de reconhecerem tais sintomas, a fim de garantirem a segurança de voo. Este artigo descreve o desenvolvimento de uma Câmara de Hipóxia Normobárica (CHN) portátil e de baixo custo. A CHN possibilita treinamento em situações de hipóxia para aviadores. Para ser portátil e de baixo custo, a CHN foi construída por meio de uma estrutura em tubos de PVC, revestida com lona vinílica transparente e dotada de fechos para acessar e isolar a atmosfera interna da câmara do restante do ambiente. O sistema de controle da CHN foi projetado para adquirir sinais dos sensores de  $O_2$  e  $CO_2$ , processar e controlar o hardware dos atuadores responsáveis pela mistura gasosa, que permitem alterar a concentração de oxigênio no interior da CHN, e homogeneizar o ar dentro da CHN e realizar a exaustão do interior da câmara. Os resultados obtidos

mostram que o desenvolvimento da CHN cumpriu os pré-requisitos estabelecidos no projeto. A CHN pode ser utilizada na capacitação de aviadores em condições controladas e na realização de pesquisas em fisiologia humana, relacionadas à hipóxia.

**Palavras-chave:** Câmara hipóxia normobárica. Alterações fisiológicas. Treinamento em hipóxia. Segurança de voo.

## 1 INTRODUCCIÓN

La hipoxia, que se caracteriza por un suministro inadecuado de oxígeno ( $O_2$ ) a los tejidos y células del cuerpo, es una condición con la que los pilotos pueden encontrar debido a fallos en una aeronave. Como los síntomas de hipoxia varían de individuo a individuo, es necesario que los tripulantes conozcan sus propios signos y síntomas, para permitir una posible anticipación de acciones correctivas, en caso de ocurrir esa emergencia en vuelo.

En la aviación, estadísticamente, el tipo de hipoxia con mayor número de ocurrencias es la hipóxia hipóxica, también conocida como hipoxia de altitud. Esta situación es causada por la disminución de la presión atmosférica, principalmente debido al aumento de altitud, ya que naturalmente hay una disminución en la presión parcial del oxígeno. La hipoxia de la altitud tiene como principales signos y síntomas la disminución gradual de la visión, la hiperventilación, el aumento de los latidos cardiacos, la disminución de las funciones psicomotoras, la pérdida de discernimiento, la semiconsciencia o incluso la inconsciencia y, en situaciones más graves, puede llevar al óbito (RUSSOMANO, 2012).

Aunque los accidentes de aviación debido a la hipoxia de la altitud son raros (Self et al., 2010), se pueden citar algunos casos de descompresión de la aeronave que resultaron en hipoxia, como en el accidente con el famoso golfista estadounidense *Payne Stewart*, el 25 de octubre de 1999, en Dakota del Sur (CABLE, 2003). Otro caso de similares características, se produjo el 2 de agosto de 2005, con el avión de la compañía *Chipriota Helios Airways*, que mató a 110 pasajeros y 8 tripulantes.

De acuerdo con la *Federal Aviation Administration* (FAA - Administración Federal de Aviación) y la Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC), las agencias del gobierno de Estados Unidos y Brasil, respectivamente, es necesario que los cursos de formación de pilotos involucren temas relacionados con medicina aeroespacial, sin embargo sólo se

requiere el conocimiento teórico según el **MCA 58 - Manual del Curso de Piloto Comercial - Avión** desarrollado por el entonces Ministerio de Aeronáutica (BRASIL, 2013a).

El presente artículo trata del desarrollo de una Cámara de Hipoxia Normobárica (CHN) capaz de simular la hipoxia en condiciones normales de presión, a través de la oferta de una atmósfera con baja concentración de oxígeno, para quien esté dentro de la CHN, concentración esa que se puede ajustar según la altitud que se desee simular. La utilización de esta Cámara permite a los pilotos y su tripulación realizar un entrenamiento práctico para probar y conocer sus propios límites y saber identificar los síntomas en condición de hipoxia para actuar correctamente en situaciones reales de emergencia en vuelo. La CHN también permite el entrenamiento de atletas (de alto rendimiento) para un mejor acondicionamiento físico y adaptación a la altitud (situación muy común, por ejemplo, con jugadores de fútbol), además de investigaciones relacionadas con la fisiología humana y el proceso de envejecimiento.

La CHN posee características interesantes, como la posibilidad de entrenamiento simultáneo de más de un individuo, además de un sistema de control automático que permite la simulación de diferentes altitudes con la disminución de la concentración de oxígeno. Con el fin de crear una CHN con características diferenciadas en relación a las disponibles comercialmente, la estructura de la cámara está diseñada para ser ligera, fácil de montar, desmontar y transportar, pudiéndose instalarla en diversos lugares (sin necesidad de instalación especial), así como ser de bajo costo.

La construcción de la CHN tuvo por objetivo hacer más real la simulación de hipoxia actualmente realizada en el Centro de Microgravedad de la Pontificia Universidad Católica de Rio Grande do Sul (PUCRS), la cual utiliza una Máscara de Hipoxia (para disminuir la oferta de oxígeno), pues en una situación real de emergencia en vuelo, la máscara, de forma contraria, será la fuente adecuada de oxígeno para que los tripulantes eliminen los efectos de la hipoxia de altitud. Por lo tanto, para mejorar la formación en relación con las acciones que deben ser realizadas por la tripulación, lo ideal es a utilizar hasta un entorno **real**, simulado por una cámara cerrada en la que la atmósfera tiene baja concentración de oxígeno y en el cual los simuladores de vuelo pueden adaptarse y otros experimentos para evaluar la concentración y alteraciones del proceso cognitivo de la tripulación.

En la literatura científica, es posible encontrar diversos estudios sobre la hipoxia de la altitud, en los que se describen los signos y síntomas que ocurren en los seres humanos sometidos a una atmósfera con baja concentración de oxígeno. En estos trabajos, siempre se enfatiza el hecho de que cada individuo tiene una reacción diferente cuando se somete a la hipoxia hipóxica (THE AVIATORS ..., 2012), lo que justifica la necesidad de un entrenamiento fisiológico práctico para el reconocimiento de los efectos individuales y los peligros que los mismos pueden acarrear para la seguridad de vuelo.

## 2 OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una Cámara de Hipoxia Normobárica en el Centro de Microgravedad - MicroG, de la PUCRS. En el trabajo se aborda acerca del concepto, diseño, los componentes mecánicos y estructurales, incluyendo la forma en que se genera la mezcla de aire con baja concentración de oxígeno a los usuarios, los instrumentos utilizados y *software* adaptado para su control y mecanismos de seguridad.

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la CHN se realizó una revisión de la literatura, donde se abordan los aspectos más relevantes relativos a la hipoxia en la aviación, así como los diferentes métodos de simulación de hipoxia y los equipos existentes.

### 3.1 Hipoxia

El oxígeno es la principal fuente de vida para el ser humano, responsable de suministrar energía a las células y tejidos. La disminución de un adecuado suministro de oxígeno a las células y tejidos, causada por diferentes factores, se denomina hipoxia. El ser humano expuesto a esta situación puede tener un severo deterioro de los sistemas corpóreos, principalmente células del sistema nervioso central (especialmente células del cerebro), ocasionando síntomas como reducción de las funciones visuales, alteraciones psicomotoras y cognitivas y, en casos extremos, pérdida de la conciencia y la muerte (DAVIS et al., 2008; ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

El tipo de hipoxia que más afecta a los aeronautas es conocido como hipoxia hipobárica o hipóxica, siendo ésta resultante de cualquier ocurrencia ambiental. En esto, hay una disminución en la presión parcial arterial de  $O_2$  ( $PA_{O_2}$ ), causando una reducción en la difusión de oxígeno

a través de la membrana alveolar pulmonar, lo que resulta en la disminución de la cantidad de gas disponible para la oxigenación de los tejidos y las células. Este tipo de hipoxia puede ocurrir de forma aguda, cuando hay una exposición inmediata a un ambiente presórico menor, en la cual no hay tiempo hábil para el organismo compensar los efectos de la hipoxia (por ejemplo, descompresión en vuelo), o aún de forma crónica, donde hay una exposición progresiva, en la que existe un período de compensación del organismo. (por ejemplo, una escalada en montaña) (COSTA; PROTÁSIO, BRASILEIRO, 2009; ERNSTING, GRADWELL, 2006; HARDING, 2012).

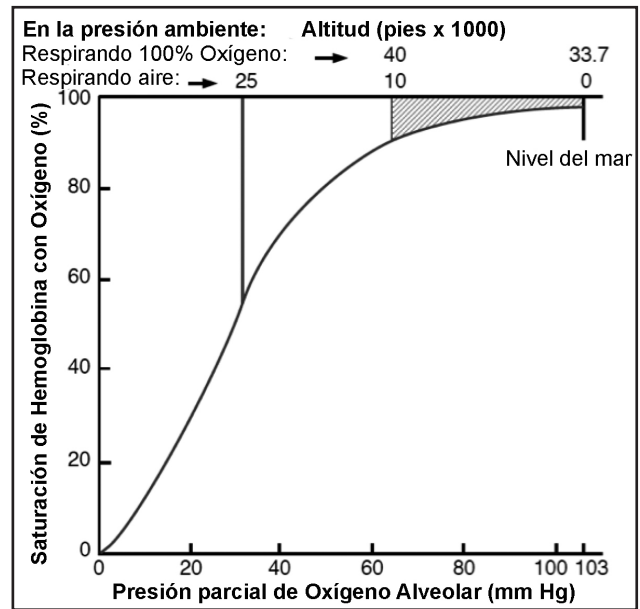
Con el aumento de la altitud, hay una disminución en la presión barométrica (Pb) y, consecuentemente, en la presión parcial de los gases atmosféricos. La caída en la presión parcial del oxígeno inspirado (PIO<sub>2</sub>) causa una reducción en la presión parcial de oxígeno alveolar (PAO<sub>2</sub>). La diferencia entre el PIO<sub>2</sub> y PAO<sub>2</sub> se muestra en la Ecuación 1 (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

$$PI_{O_2} - PA_{O_2} = PaCO_2 \left( FI_{O_2} + \frac{1 - FI_{O_2}}{R} \right) \quad (1)$$

Donde FIO<sub>2</sub> es la fracción de oxígeno inspirado y R la tasa de respiración. PaCO<sub>2</sub> se produce por la tasa de producción de CO<sub>2</sub> en la ventilación alveolar. Esta tasa se mantendrá constante hasta 10.000 pies. Por encima de eso, la PAO<sub>2</sub> cae a niveles que desencadenan un estímulo respiratorio a través de quimiorreceptores arteriales (hiperventilación). Se trata de una medida de protección para minimizar los efectos de la hipoxia a la caída de PaO<sub>2</sub> y por lo tanto la saturación de la hemoglobina, como puede verse en la Tabla 1 (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012).

La curva de disociación de la hemoglobina (Figura 1) (la relación entre la curva de saturación de oxígeno - SpO<sub>2</sub> y PIO<sub>2</sub>) muestra que hasta 10.000 pies un gran incremento en la altura provoca una pequeña variación en SpO<sub>2</sub> y de 10.000 pies, un pequeño aumento en la altitud produce una gran disminución de la SpO<sub>2</sub> y el empeoramiento de los síntomas de la hipoxia (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

Figura 1 – Curva de disociación de la hemoglobina.



Fuente: Adaptado de Harding (2012).

Los síntomas de la hipoxia hipobárica se dividen en cuatro etapas. La **etapa indiferente** pasa desde el suelo hasta 10.000 pies (o desde el suelo hasta 39.000 pies suplementadas con O<sub>2</sub> 100%) en la que el individuo se ajusta sin la necesidad de suplemento de oxígeno. Sin embargo, la visión se ve afectada, principalmente por la noche. En un vuelo nocturno a 5.000 pies, se pierde de 5% a 10% de la visión, ya a 1000 pies, del 15% al 25% y más de 12.000

Tabla 1 – Los valores típicos para la presión y la saturación de la hemoglobina de un sujeto sano expuesto a hipoxia.

Altitud (ft)	Concentración de O <sub>2</sub> (%)	Presión barométrica (Pb) (mm Hg)	Presión parcial de O <sub>2</sub> inspirado (PI <sub>O<sub>2</sub></sub> ) (mm Hg)	Presión parcial de O <sub>2</sub> en la sangre arterial (PA <sub>O<sub>2</sub></sub> ) (mm Hb)	Saturación de hemoglobina (SpO <sub>2</sub> ) (%)
0,000	20,95	760	148	95	96
8,000	15,54	565	108	56	92
15,000	11,81	429	80	37	79
18,000	10,45	380	69	32	63
20,000	9,61	349	63	29	44

Fuente: Ernsting y Gradwell (2006).

pies, del 25% al 30%. También se produce un aumento del metabolismo con mayor quema calórica (COSTA; PROTASIO; BRASILEIRO, 2009; RUSSOMANO, 2012).

La **etapa de compensación** ocurre de 10.000 pies a 15.000 pies (o de 39.000 pies a 42.500 pies con O<sub>2</sub> 100%). El organismo tiende a compensar los efectos de la hipoxia por medio de respuestas respiratoria y cardiovascular, como la hiperventilación y el aumento de los latidos del corazón. Los principales síntomas son somnolencia, cambios en el juicio, incoordinación motora, pensamiento lento, sensación de **bienestar** (cierta euforia), que es el más peligroso, ya que no permite al individuo a tomar medidas mediante emergencia (COSTA; PROTASIO; BRASILEIRO, 2009, RUSSOMANO, 2012).

La **etapa de perturbado** se verifica de 15.000 pies a 20.000 pies (o de 42.500 pies a 45.000 pies con O<sub>2</sub> 100%). En ésta, la compensación realizada por el organismo ya no es satisfactoria. Los principales síntomas son hiperventilación acentuada, taquicardia y cefalea intensa. Hay cambios en las funciones psicomotrices, como el aumento significativo el tiempo de reacción, incoordinación muscular e incoordinación motora, cambios en las funciones cognitivas, como debilitamiento de la realización de nuevas tareas, disminución de la memoria de corto y largo plazos y razonamiento lógico, dificultad en la resolución de tareas matemáticas sencillas, pérdida de juicio e alteración en la función visual como la reducción de percepción a la intensidad luminosa. La agudeza visual se disminuye con poca luz y pérdida de visión periférica (visión en túnel) (COSTA; PROTASIO; BRASILEÑO, 2009; RUSSOMANO, 2012).

En la **etapa crítica** (acima de 20.000 pies o 45.000 pies con O<sub>2</sub> 100%) hay un debilitamiento de los sistemas cardiopulmonar y nervioso, la acentuación de los síntomas que se producen en la etapa de perturbado. Hay una rápida disminución del desempeño mental y puede ocurrir inconsciencia con poco o ningún síntoma, convulsiones caracterizadas por contracciones musculares que producen opistótono (cabeza, brazo,

cuello y columna vertebral forman una posición de arco cóncavo hacia atrás), precedido o seguido por un o más espasmos musculares, semiconsciencia, inconsciencia e muerte (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

El intervalo entre la disminución de la demanda de oxígeno hasta el momento en que el individuo pierde la capacidad de toma de decisiones (protectoras y correctivas) se denomina Tiempo de Rendimiento Eficaz (TDE). En la práctica, el concepto más aceptado es el período en el que el individuo afectado retiene la habilidad para actuar en la corrección de situaciones difíciles (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

Un piloto que está a 15.000 pies tendrá 30 minutos o más para reconocer sus síntomas y (o) signos de hipoxia y tomar actitudes que salven a los pasajeros y tripulantes de un accidente, pero ese mismo piloto tendrá un máximo de 20 segundos, si está a 40.000 pies. El tiempo de rendimiento eficaz se muestra en la Tabla 2 (ERNSTING; GRADWELL, 2006; HARDING, 2012; RUSSOMANO, 2012).

### 3.2 Métodos de Simulación de Hipoxia Hipóxica

La hipoxia hipóxica puede ser generada por dos formas. La primera por el cambio en la presión ambiente, lo que provocará una disminución en la presión parcial (PIO<sub>2</sub>) que el oxígeno ejercerá en la difusión gaseosa de los pulmones a la sangre. Este tipo de ambiente puede ser simulado en cámaras hipobáricas. La segunda forma, que será utilizada en la cámara desarrollada en ese trabajo, es obtenida por el cambio en la fracción del volumen de oxígeno en el entorno. La fracción del volumen de oxígeno es directamente proporcional a la presión parcial ejercida por él, por lo que una disminución en el volumen de oxígeno disminuirá la presión parcial ejercida en la difusión gaseosa de los alvéolos a la sangre. Este cambio ambiental puede ser simulado en cámaras normobáricas.

**Tabla 2** – Relación entre TDE, altitud y la concentración de O<sub>2</sub>.

Altitud (ft)	Concentración de O <sub>2</sub> (%)	Tiempo de rendimiento eficaz TDE (s)
15,000	11,81	1800 o más
18,000	10,45	1200 a 1800
22,000	8,83	300 a 600
25,000	7,76	180 a 360
28,000	6,80	150 a 180
30,000	6,21	60 a 180
35,000	4,92	30 a 60
40,000	3,87	15 a 20
50,000	-	6 a 9

**Fuente:** Russomano (2012).

Según *International Standard Atmosphere* (ISA - atmósfera estándar internacional), los valores estándares para la presión barométrica y la concentración de oxígeno a nivel del mar son de 760 mmHg y 21%, respectivamente. En una persona sana, la saturación de la hemoglobina ( $SpO_2$ ), a nivel del mar, es de aproximadamente 98% a 99% (RUSSOMANO, 2012).

### 3.2.1 Cámara de hipoxia normobárica (CHN)

La CHN o la tienda hipóxica consiste en una sala en la que hay una inserción de una mezcla gaseosa, generalmente nitrógeno, con presión igual a la atmosférica. Como no hay variación en la presión, su estructura puede ser construida como una carpa totalmente vedada, pudiendo tener estructura de plástico o aluminio y envoltura de nylon (COLORADO ALTITUDE TRAINING, 2010; HYPOXICO ALTITUDE TRAINING SYSTEMS, 2010).

Para este trabajo, fueron investigadas las cámaras hipóxicas desarrolladas en universidades en Inglaterra y Estados Unidos. *King's College London* tiene una cámara para investigación de la fisiología humana en ambientes extremos. Esta cámara tiene aproximadamente 9m<sup>2</sup>, que se construye en plástico PVC transparente con estructura de aluminio, de aberturas selladas con cierre por cremalleras (Figura 2), e con capacidad de hasta 10 personas. La generación de aire empobrecido de oxígeno se toma a través del equipo de *eTraining With Altitude Air Generator* (TWAAG). El monitoreo de aire en el interior de la CHN se realiza por sensores de gases.

**Figura 2** – CHN del *King College London* en el Reino Unido.



**Fuente:** Los autores.

*Embry-Riddle Aeronautical University* en los Estados Unidos también tiene una cámara hipóxica normobárica fabricado

por la empresa *CAT Altitude Training*. Está construida con placas de polipropileno y estructura de aluminio, siendo montada sobre una estructura de madera elevada en relación al suelo, por donde se hace el paso del cableado eléctrico. Mide aproximadamente 9,6 m<sup>2</sup> y también tiene una antesala. Tiene capacidad de utilización por 9 individuos, además de la posibilidad de uso de simulador de vuelo. La generación de mezcla gaseosa se hizo con el equipo *CAT Air Unit*. El monitoreo se hace por dos sensores de oxígeno, un sensor de dióxido de carbono, uno de presión y uno de temperatura (COLORADO ALTITUDE TRAINING, 2010).

### 3.2.2 Cámara de hipoxia hipobárica

La Cámara de hipoxia hipobárica (CHH) consiste en una sala, en la que hay una disminución de la presión ambiental. Su funcionamiento consiste en utilizar válvulas de vacío para reducir la presión del interior de la cámara, simulando la presión ambiental correspondiente a la altitud deseada. Su construcción, su funcionamiento y su mantenimiento implican mayor complejidad y costos en relación a las cámaras normobáricas hipóxicas, sin la posibilidad de movilidad. La Figura 3 ilustra la Cámara Hipobárica de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB).

**Figura 3** – CHH de Fuerza Aérea Brasileña.



**Fuente:** Brasil (2013b).

En comparación con CHH y CHN en relación con la estructura, la CHH tiene una estructura extremadamente compleja, robusta y pesada, a diferencia de la CHN, que es más ligera, pudiendo ser modulable y fácilmente transportable.

De acuerdo con Self (2010), se concluyó, después de varias pruebas fisiológicas y parámetros medidos, que la CHN es tan eficiente como la CHH para entrenamiento fisiológico en hipoxia, con la ventaja de tener mucho menor costo y ser segura, pues disminuye la posibilidad de barotrauma y de la enfermedad de la descompresión.



### 3.2.3 Máscara de hipoxia

Las máscaras de hipoxia reciben mezcla gaseosa preseleccionada a través de un cilindro o generador de **altitud simulada**. A diferencia de otros modos de entrenamiento, la máscara no necesita infraestructura para su uso, lo que hace menos costoso el costo de construcción, instalación y mantenimiento.

Para la formación de los estudiantes de la Facultad de Ciencias Aeronáuticas de la PUCRS el Centro de Microgravedad (MicroG) ha desarrollado este sistema, que se compone de una máscara de oxígeno, la tráquea de silicona, válvula de selección manual, un globo de látex, un cilindro de O<sub>2</sub> medicinal a 100% para uso de emergencia, y cilindros de mezclas de gases (O<sub>2</sub>, y el balance de N<sub>2</sub>) (Figura 4).

**Figura 4** – Máscara de hipoxia de MicroG.



**Fuente:** Los autores.

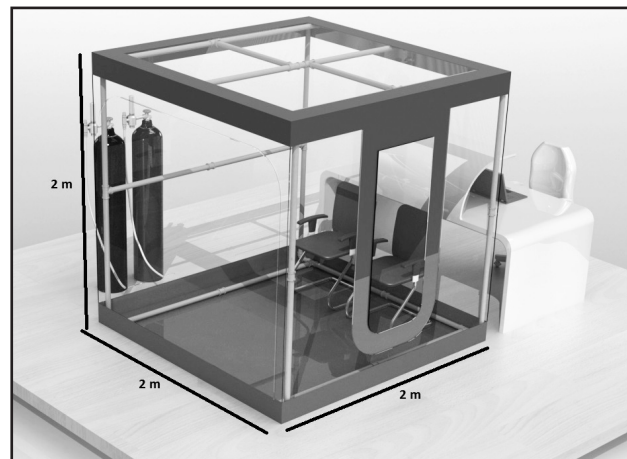
### 3.3 Desarrollo de la Cámara de Hipoxia Normobárica

La CHN desarrollada en el Centro de Microgravedad tiene como objetivo final el entrenamiento fisiológico de pilotos y tripulación en hipoxia y estudios del comportamiento del organismo a altas altitudes, por medio de protocolos de investigación. Con base en ese objetivo, se constató que la CHN debería poseer las

siguientes características: material que permita que sea desmontable, de fácil transporte y lo más liviano posible, siendo su masa no superior a 150 kg. La CHN todavía debería tener dimensiones suficientes para permitir su utilización por dos voluntarios y también con una cinta ergométrica, bicicleta ergométrica o cicloergómetro con dimensiones máximas de 1,12 m por 0,53 m, por 1,13 m. El material de la estructura debe ser impermeable.

A partir de estos requisitos previos, se definió que CHN tendría dimensiones mínimas de altura, anchura y profundidad de 2 m, así como una estructura ligera y transparente. Un diseño computacional se ha desarrollado utilizando el *software* CAD (Figura 5). Para el desarrollo de CHN y su control, se requiere el desarrollo de plataformas de *hardware*, *software* y *firmware* dedicados. Al final, cada una de las partes fue integrada al sistema de control.

**Figura 5** – Diseño computacional de la Cámara de Hipoxia Normobárica de MicroG.



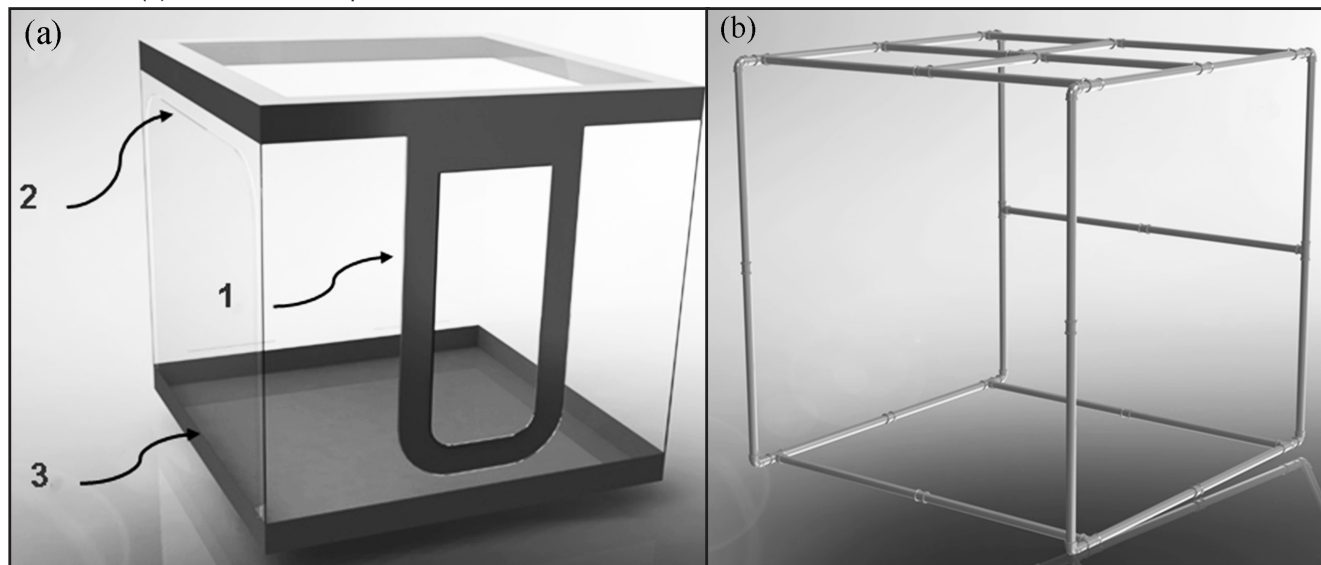
**Fuente:** Los autores.

#### 3.3.1 Design de la estructura principal

La CHN fue entonces desarrollada con estructura de tubos de PVC de 40 mm de diámetro y revestida con lona vinílica. La mayor ventaja de este material es posibilitar su montaje y desmontaje en pocos minutos, además de ser ligero y presentar un excelente costo-beneficio. El peso de la estructura de tubos de PVC es de unos 15 kg. En la Figura 6 (b), se puede verificar la estructura interna para la sustentación de la CHN.

En la composición del revestimiento de la base se utilizó lona vinílica kp1400; en las paredes, lona vinílica kp1000; y el **laminado cristal 60** para las partes transparentes, cada uno tienen un espesor de 0,6 mm y la densidad de 0,2 g/cm<sup>3</sup>. La dimensión total del revestimiento es de 24 m<sup>2</sup> y su masa es de 48 kg, conforme Figura 6 (a).

**Figura 6** – (a) Vista esquemática frontal del recubrimiento de la CHN. 1: Entrada Principal; 2: Entrada Secundária; y 3: Cremallera. (b) Estructura de soporte interna simulada en *software*.



Fuente: Los autores.

La entrada principal está diseñada en forma de U, con una anchura de 0,8 m y altura de 1,6 m, sellada por cremallera, con el objetivo de permitir una apertura rápida en caso de emergencia. Para la inserción de equipos y objetos de CHN, como camillas, sillas y equipamientos médicos, se desarrolló una puerta secundaria, midiendo aproximadamente 1,87 m de altura por 1,62 m de ancho.

Para que hubiera la posibilidad de visualización del individuo por el lado externo de la cámara, las paredes fueron proyectadas con PVC transparente (laminado cristal 60), excepto en las áreas de refuerzo que están en contacto con los tubos. Para estos lugares se diseñó la utilización de PVC opaco (lona vinílica kp1000), ya que hay mayor resistencia. Con la intención de haber mejor iluminación en el interior, el techo también fue proyectado con PVC transparente.

La entrada y salida de los tubos de gas y el cableado eléctrico fueron proyectadas para ser insertadas en la cámara por medio de dos aberturas por cremallera en la parte trasera, midiendo 0,4 m. Para facilitar el montaje de la estructura, se colocó una cremallera en la parte inferior del revestimiento, posibilitando separar el piso de las paredes.

### 3.3.2 Sensores

For the control of the gas mixture inside the NHPara controlar la mezcla de gas dentro de la CHN se utiliza un sensor de O<sub>2</sub> y un sensor de CO<sub>2</sub>. El sensor de oxígeno es el modelo PSR-11-915-2 de *Analytical*

*Industries*. La salida puede variar entre 23 μA y 30 μA y equivalente a la escala de 0% a 100% de O<sub>2</sub>. La respuesta es menor que 20 segundos para llegar al 90% del valor medido y su expectativa de vida es de 60 meses.

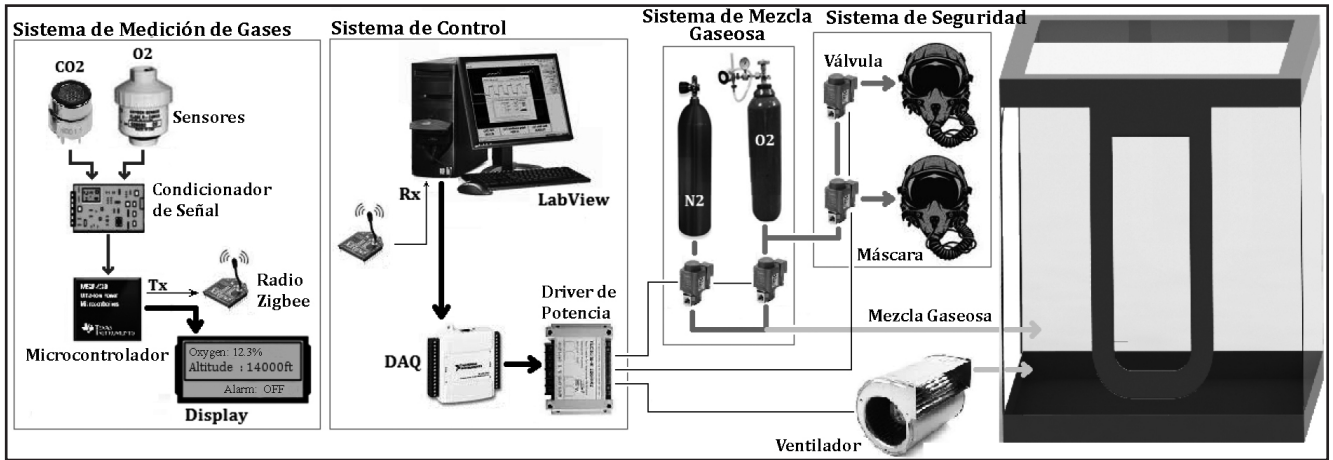
El sensor de CO<sub>2</sub> utilizado es el modelo MG811 de *Parallax*. El sensor funciona por los principios electroquímicos, en los que el gas activa el elemento de calentamiento interno, generando una pequeña tensión en la salida, en la misma proporción de la cantidad de gas expuesto al aire. Este sensor necesita una tensión que puede oscilar entre 6,5 V a 12,0 V.

### 3.3.3 Hardware de la CHN

El *hardware* de la CHN se compone de dos partes: una responsable de leer los sensores de gas y la comunicación, y la otra para el control de las válvulas y el ventilador de homogeneización de aire y por lo tanto, la concentración de O<sub>2</sub>, como se ilustra en la Figura 7.

Para el control automático de apertura y cierre de los gases, se utilizó una válvula solenoide VSMA-1422 con dos vías. El sistema de medición de gas consiste en un sensor de oxígeno modelo PSR-11-915-2, un sensor de CO<sub>2</sub> modelo MG811 y una placa utilizando microcontrolador de 16 bits, de la familia MSP430 de *Texas Instruments*, dedicada a la instrumentación y lectura de estos sensores. Esta placa también es responsable de transmitir los datos de los sensores a través de radio *Zigbee*, a un ordenador, que ejecuta el software de control desarrollado en la plataforma *LabVIEW*.

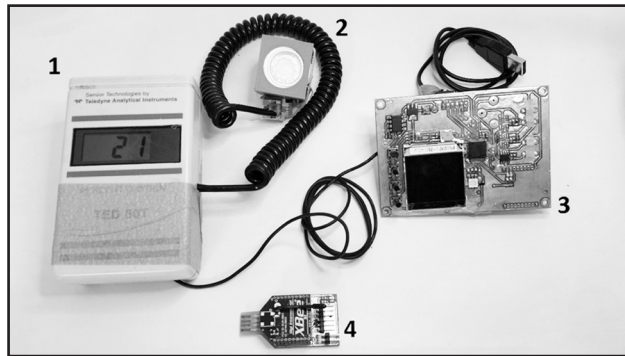
Figura 7 – Esquema del hardware de CHN.



Fuente: Los autores.

Esta placa electrónica está diseñada en *software* CAD (*Altium Designer*) y mecanizada con una fresadora CNC LPKF S63 en dos capas. Para la interfaz de usuario, se añadió un teclado que contiene cuatro botones, una pantalla gráfica y un *buzzer* de advertencia para la señalización (Figura 8). Un oxímetro portátil modelo TED 60T fue utilizado para verificar el sistema de medición de gases.

Figura 8 – Hardware. 1: Oxímetro Portátil; 2: Sensor de Oxígeno; 3: Placa electrónica desarrollada; y 4: Módulo Zigbee.



Fuente: Los autores.

El accionamiento eléctrico de las válvulas de control de gases y ventilador de homogeneización de aire se hace con el uso de una placa DAQ de *National Instruments* modelo USB-2006, conectada a un ordenador que procesa la información de los sensores con el fin de obtener la proporción deseada de  $O_2$  y  $N_2$ . El módulo de adquisición de datos DAQ está conectado a un *driver* ULN2003, que permite el accionamiento de nueve relés. Para el alojamiento de la placa de circuito impreso, se utilizó una carcasa de plástico, siendo la cubierta frontal reemplazada por una proyectada en *software SolidWorks* e impresa en

la impresora 3D *MakerBot 2X*, en la que se insertaron enchufes para la conexión eléctrica.

Para garantizar la homogeneización de la mezcla gaseosa, se utilizó un ventilador (009-B40-22", fabricante SPAL). Durante y después del uso de la CHN, hay necesidad de agotar la mezcla gaseosa a un entorno externo, así que fue adaptado un ventilador modelo MC-11B, de *Elgin*, en conjunto con una base (soporte del conector), conector y tubos flexibles. Para adaptarlos al sistema, fue necesario imprimir algunas partes en la impresora 3D *Makerbot 2X* de material ABS. Por seguridad, se colocaron en el interior de la cámara máscaras con 100% de oxígeno medicinal. La máscara utilizada en el sistema de oxigenación es del tipo MBU-12/P de *GENTEX*, donado por FAB para este proyecto.

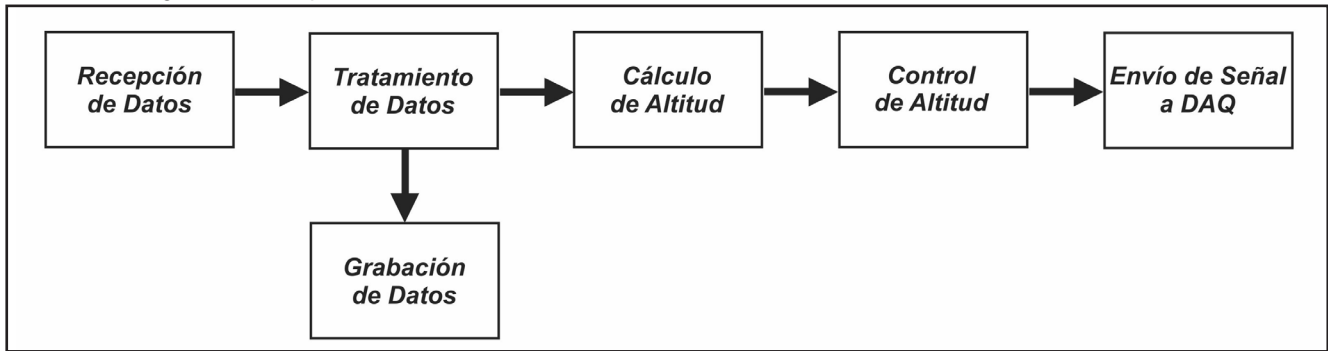
### 3.3.4 Firmware de CHN

El *firmware* está escrito en lenguaje de programación C, en que se utiliza la plataforma de desarrollo *Eclipse* para programar el procesador MSP430F2619. Para una mayor robustez del *firmware*, es decir, a prueba de fallos en el envío de paquetes al *software*, se implementa el modo de transmisión *handshake*.

### 3.3.5 Software de CHN

Fue desarrollado el *software* en la plataforma de desenvolvimiento *LabView*, con función principal de controlar todos los sistemas involucrados en el proyecto y ser la *interfaz* de usuario (*Graphical User Interface – GUI*) con el sistema. El mismo recibe paquetes de datos enviados por el sistema sensorio, hace el procesamiento de estos datos, graba en archivo de texto, hace los cálculos y control de los gases como *set-point* de altitud y, finalmente, envía señales al sistema de control. La Figura 9 muestra un diagrama de bloques del *software*.

Figura 9 – Diagrama de blocos do software.



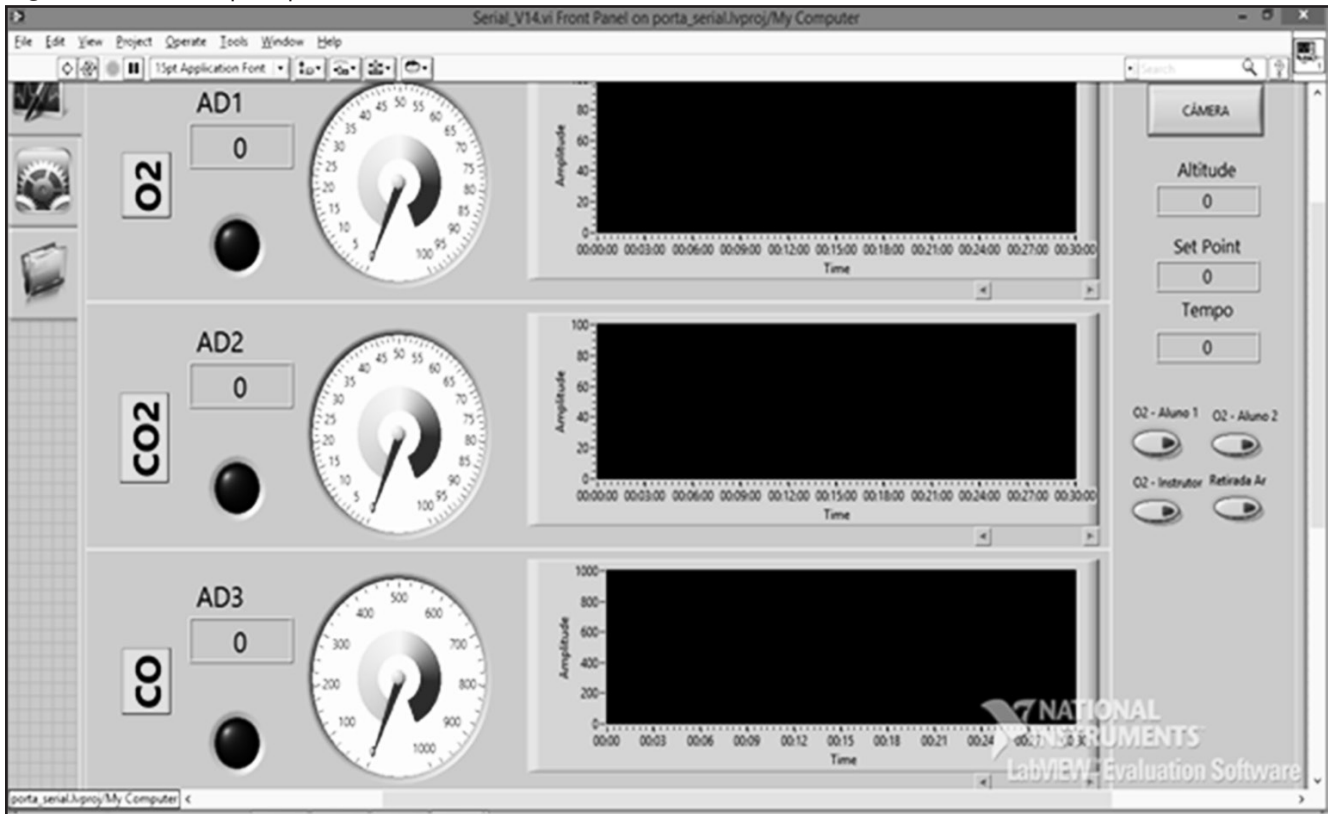
Fuente: Los autores.

El comienzo del software es a través del bloque de recepción de datos, que entonces recibirá los paquetes de datos enviados a través de un puerto serie (COM) del sistema de detección. A continuación, se hace la comprobación del paquete de datos recibido y, al final, el paquete de datos se le asigna en la variable **Valor Aceptado**. Los valores de **O<sub>2</sub>**, **CO<sub>2</sub>** y **CO** pueden grabarse en un archivo de texto, conforme necesidad del usuario.

El software está diseñado con tres pantallas. La pantalla del visor es la principal, donde el usuario

visualiza los valores de los parámetros clave del sistema, tales como **O<sub>2</sub>**, **CO<sub>2</sub>** y **CO**, además de accionar el módulo de la *Webcam* y las válvulas solenoide del sistema de seguridad. La pantalla de configuración del sistema es responsable de todo el ajuste del software, incluyendo los límites de alarma, puerto serie y direcciones de escritura. La pantalla de entrada es responsable de insertar los *set-points* de altitud con posibilidad de entrada automática o manual, así como posibilitar el accionamiento de todos los equipos gestionados por el sistema de control. En la Figura 10, se muestra la pantalla principal.

Figura 10 – Pantalla principal del software desarrollado.



Fuente: Los autores.

### 3.3.6 Sistema de control de CHN

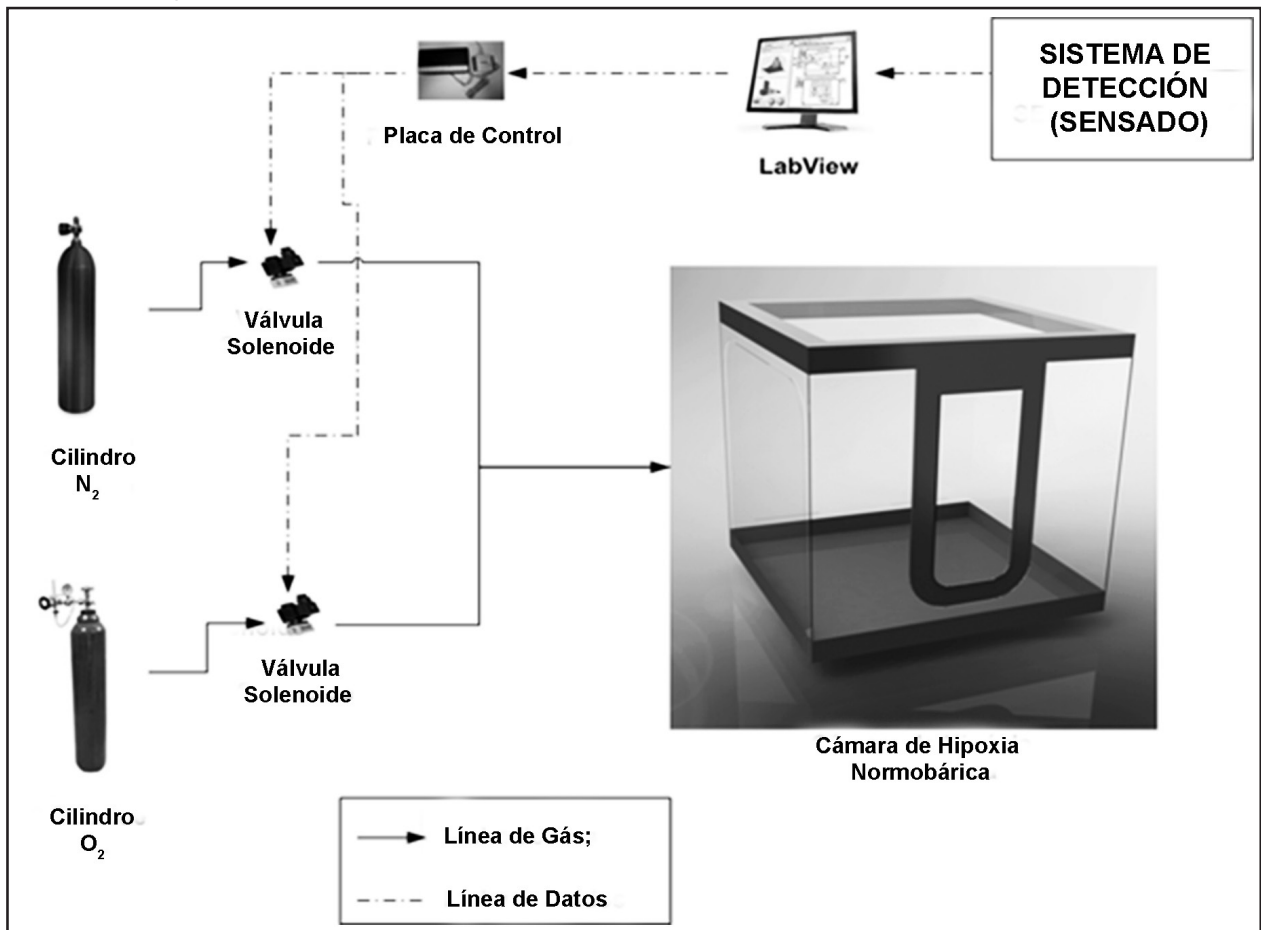
Para determinar la mezcla de gas dentro de la CHN, que genera un ambiente hipóxico, de acuerdo con requisitos pre-establecidos en entrenamientos o protocolos de investigación, se desarrolló un sistema de suministro de gas controlado, realizando la integración de *software*, *hardware* y *firmware*. Además de estos componentes, el sistema está compuesto por los cilindros de oxígeno y de nitrógeno, válvulas solenoide y mangueras de aire comprimido. En la Figura 11, es posible visualizar un esquema ilustrativo del sistema de control.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de este proyecto, se definieron las siguientes características para la CHN: ser desmontable y de fácil transporte; con una masa inferior a 150 kg; tener una estructura transparente; ser de material impermeable; y contener dimensiones suficientes para permitir la utilización simultánea por dos voluntarios, y contener una estera ergométrica y (o) una bicicleta ergométrica y (o) un cicloergómetro.

Para el desarrollo de la estructura, se eligieron tubos de PVC, por ser un material ligero, de bajo costo en relación a los demás materiales analizados (aluminio y madera) y por cumplir el requisito previo de ser desmontable y de fácil transporte. El recubrimiento fue elegido bolsa de vinilo Kp1000, y **laminado cristal 60** Kp1400 por lo que es resistente al agua y permite una vista interna de la parte externa, cumpliendo el requisito de tener una estructura transparente y utilizar material impermeable. En cuanto a las dimensiones, no hubo cambios en relación al proyecto inicial, o sea, se mantuvieron lo estipulado, las dimensiones de 2 m x 2 m x 2 m, lo que es adecuado para entrenamiento de pilotos y atletas, pudiendo conllevar la utilización simultánea de pilotos dos voluntarios y un equipo para ejercicios. El peso de la estructura completa es alrededor de 63 kg, estando, por lo tanto, bajo al requisito previo referente al peso máximo de la misma. Por lo tanto, se comprobó que el concepto y *design* de CHN siguieron con éxito los requisitos establecidos al comienzo del proyecto.

Figura 11 – Esquema ilustrativo del sistema de control.



Fuente: Los autores.

Para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema de control de *hardware*, se desarrollaron una prueba de sellado y una prueba de control de *hardware*, que se describe a continuación. La prueba de sellado (Figura 12) fue comprendida en la aplicación de humo blanco en el interior de la cámara, dando como resultado la verificación visual de fugas, considerados mínimos, ubicados en las cremalleras de las aberturas, concluyendo que la CHN es segura para uso. Sin embargo, los individuos que se quedan alrededor de la cámara, durante protocolos de investigación o entrenamientos, también deben tomar precauciones, como monitoreo de la saturación del oxígeno en la sangre, por medio de oximetría, para evitar hipoxia indeseada. Se recomienda que el recinto en el cual la CHN esté instalada esté bien ventilado, evitando llevar la hipoxia a individuos que estén cerca del equipo.

**Figura 12** – Prueba de sellado en la CHN.



**Leyenda:** En el lado derecho, es posible ver la CHN completamente llena de humo blanco. En el lado izquierdo, se verifican visualmente mínimas pérdidas por medio de la cremallera. Estas pérdidas son compensadas por el sistema de control.

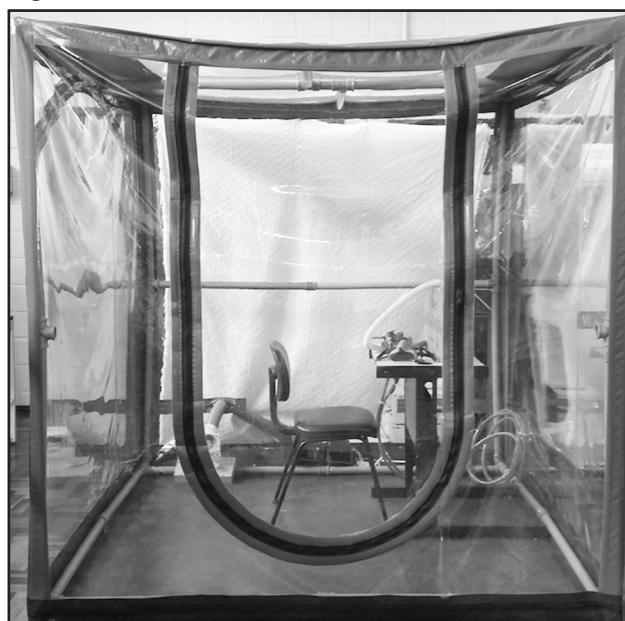
**Fuente:** Los autores.

La prueba de banco del funcionamiento del sistema de control de *hardware* se llevó a cabo con el fin de verificar su correcto funcionamiento y posible sobrecalentamiento del módulo de control de *hardware*. El primer resultado demostró que, al activar o desactivar bobinas y motores, se generaba ruido, que causaba problemas en el módulo DAQ. Para resolver este problema, se han añadido filtros a la salida del módulo de control de *hardware*. No hubo un sobrecalentamiento en el módulo de control de *hardware*. Una mejora implementada, en comparación con las cámaras encuestadas, está en el aspecto de seguridad. La CHN hace un control de CO<sub>2</sub> a través de sus sensores embarcados y, una vez que el nivel

de CO<sub>2</sub> alcanza un nivel crítico predeterminado, se activa una alarma audible de manera que se tomen las medidas de seguridad. Tales acciones consisten en apertura de la cámara y suplementación inmediata de oxígeno para los individuos en su interior.

La CHN desarrollada presentó un bajo costo de desarrollo y concepción en relación a las cámaras investigadas. En cuanto a la cámara desarrollada en *el Kings College London*, la CHN tenía un coste de 4% de la misma. Ya en cuanto a la cámara FAB, el costo fue de alrededor de 6%, mientras que en relación con la cámara de la universidad *Embry-Riddle*, fue del 14%. La versión final de la CHN se puede ver en la Figura 13.

**Figura 13** – Versión final de la CHN.



**Fuente:** Los autores.

## 5 CONCLUSIÓN

Al final de este proyecto, se desarrolló la estructura física utilizando tubos y lonas de vinilo, *hardware* y *firmware*, responsables por el sistema de medición de gas y *hardware* para control de las válvulas y del ventilador de homogeneización de aire. También se desarrolló el *software* para control de sistemas e *interfaz* de usuario y, por fin, el sistema de suministro de gas. Aún se desarrolló una prueba para asegurar la estanqueidad de la estructura y el funcionamiento perfecto del sistema de control de *hardware*. Se concluye, por lo tanto, que las etapas del concepto y *design* han seguido con éxito todos los requisitos previos, estando la CHN apta y segura para uso.

El mayor destaque de este proyecto se dio en relación al costo, comparado con otras cámaras investigadas, que permiten a las universidades y aeroclubes adquirir la CHN y, por consiguiente, complementar la formación de pilotos y realizar nuevas investigaciones aeroespaciales, al abrir un campo para

diversos estudios futuros e impactar positivamente la seguridad de la aviación civil y militar.

La CHN también se puede utilizar para los atletas de entrenamiento y en pruebas HAST (*Hypoxia-Altitude Simulation Test*) en los pacientes con enfermedades respiratorias, lo que amplía su rango de aplicaciones.

## REFERENCIAS

THE AVIATORS, terceira temporada, sexto episódio: anatomy of a commercial flight. Produção de FourOints Television, 2012.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Instituto de Aviação Civil. **Aviação Civil: manual de curso piloto comercial – avião**. Brasília – DF: Instituto de Aviação Civil, 2013a. 189 p.

\_\_\_\_\_. Instituto de Medicina Aeroespacial Brigadeiro Médico Roberto Teixeira. **Instrução na câmara hipobárica**. 2013b. Disponível em: <<http://www2.fab.mil.br/imaie/index.php/imagens/event/CmaraHipobrica#2>>. Acesso em: 4 set. 2014.

CABLE, G. G. In-flight hypoxia incidents in military aircraft: causes and implications for training. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, v. 74, n. 2, p. 169-172, 2003. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/asma/asem/2003/00000074/00000002/art00010>>. Acesso em: 4 fev. 2016.

COLORADO ALTITUDE TRAINING. **Altitude simulation system for pilots: the CAT hypoxic aviation system™**. Louisville, CO: Colorado Altitude Training, 2010.

COSTA, J. C.; PROTÁSIO, K. L.; BRASILEIRO, M. E. A hipóxia é a principal alteração fisiológica

no transporte aeromédico. **Revista Eletrônica de Enfermagem do Centro de Estudos de Enfermagem e Nutrição**, v. 1, n. 1, p. 1-15, jan./jul. 2009.

DAVIS, J. R. et al. **Fundamentals of aerospace medicine**. 4th ed. [S.l.]: Ed. Wolters Kluwer, 2008. p. 30-45.

ERNSTING, J. ; GRADWELL, D. P. **Ernsting's aviation medicine**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. 864 p.

HARDING, R. M. Pressure changes and hypoxia in aviation. **Medical Aspects of Harsh Environments**, v. 2, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.cs.amedd.army.mil/borden/Portlet.aspx?ID=7c0ebab2-6720-4e15-883b-dbfaafa960f9>>. Acesso em: 28 jun. 2014.

HYPOXICO ALTITUDE TRAINING SYSTEMS. **Hypoxico K2 high flow system**. New York: [s.n.], 2010.

RUSSOMANO, T. **Fisiologia aeroespacial: conhecimentos essenciais para voar com segurança**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

SELF, D. A. et al. **Physiological equivalence of normobaric and hypobaric exposures of humans to 25,000 feet: final report**. Washington: Civil Aerospace Medical Institute, 2010.

# Projeto VANT: desenvolvimento de um teste para elaboração de uma bomba teleguiada por GPS no Clube de Guerra Eletrônica da Academia da Força Aérea

*UAV Project: development of a test for the elaboration of a GPS-guided bomb in the Electronic Warfare Club of the Air Force Academy*

*Proyecto VANT: desarrollo de una prueba para elaborar una bomba teleguiada por GPS en el Club de Guerra Electrónica de la Academia de la Fuerza Aérea*

Lucas Luiz de Ávila<sup>I</sup>

Bruno Eduardo Teixeira<sup>II</sup>

Simon Skarabone Rodrigues Chiacchio<sup>III</sup>

Adriano Rogério Bruno Tech<sup>IV</sup>

## RESUMO

O Projeto VANT, do Clube de Guerra Eletrônica (CGE) da Academia da Força Aérea (AFA), foi, inicialmente, concebido para motivar, os cadetes integrantes do clube, quanto ao desenvolvimento de sistemas operacionais de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Dessa forma este artigo sugere a aplicação deste PROJETO em um aeromodelo elétrico controlado por um microcontrolador. Neste contexto o aeromodelo utilizado foi o BIXLER2 da *Hooby King* e o micro-controlador, uma placa ARDUINO UNO. Com esses materiais, propôs-se utilizar o aeromodelo no lançamento simulado de um artefato embarcado em uma aeronave, guiado pelo Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) para aterragem em um ponto predeterminado (alvo). Simulando uma bomba inteligente, pôde-se concluir positivamente o desafio do projeto por meio dos resultados conseguidos pelas diferentes missões e verificado pelo percurso desenvolvido e mapeado em uma aeronave T-27 Tucano, da AFA.

**Palavras-chave:** VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

## ABSTRACT

*The UAV Project of the Air Force Academy (AFA) Electronic Warfare Club (CGE) was originally designed to motivate cadets enrolled in the club to develop operating systems for an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Therefore, this article suggests the application of this PROJECT in an electric model aircraft controlled by a microcontroller. In this context the model aircraft used was the Hooby King BIXLER2 and the micro-controller, an ARDUINO UNO board. With these materials, it was proposed to use the model aircraft in the simulated launch of an aircraft-based artifact, guided by the Global Positioning System (GPS) for landing at a predetermined point (target). Simulating a smart bomb, the challenge of the project could be positively concluded through the results achieved by the different missions and verified by the course developed and mapped in an AFA's T-27 Tucano aircraft.*

**Keywords:** UAV. ARDUINO UNO. GPS. Smart bomb.

I. Academia da Força Aérea (AFA) – Pirassununga/SP – Brasil. Cadete Aviador do 4º Esquadrão. E-mail: lucasavila29@gmail.com

II. Academia da Força Aérea (AFA) – Pirassununga/SP – Brasil. 1º Tenente de Magistério (Física). Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP) – São Carlos/SP. E-mail: br\_edu@hotmail.com

III. Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA) – Guarulhos/SP – Brasil. 1º Tenente Administrador. Pós-Doutor pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA/USP) – Ribeirão Preto/SP. E-mail: skarabone@usp.br

IV. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP) – Pirassununga/SP – Brasil. Professor Livre-Docente do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão e Inovação na Indústria Animal da FZEA/USP. E-mail: adriano.tech@usp.br

Recebido: 02/08/2016

Aceito: 16/11/2017



## RESUMEN

*El proyecto VANT, del Club de Guerra Electrónica (CGE) de la Academia de la Fuerza Aérea (AFA), fue inicialmente concebido para motivar, los cadetes integrantes del club, en cuanto al desarrollo de sistemas operativos de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). De esta forma este artículo sugiere la aplicación de este PROYECTO en un aeromodelo eléctrico controlado por un microcontrolador. En este contexto el aeromodelo utilizado fue el BIXLER2 de Hooby King y el microcontrolador una placa ARDUINO UNO. Con estos materiales, se propuso utilizar el aeromodelo en el lanzamiento simulado de un artefacto embarcado en una aeronave, guiado por el Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System - GPS) para aterrizaje en un punto predeterminado (objetivo) Simulando una bomba inteligente, se pudo completar positivamente el desafío del proyecto por los resultados obtenidos por las diferentes misiones y verificado por la ruta asignada y desarrollada en una aeronave Tucano T-27, de AFA.*

**Palabras-clave:** VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

## 1 INTRODUÇÃO

O Clube de Guerra Eletrônica (CGE) da Academia da Força Aérea (AFA) surgiu no ano de 2010 com o objetivo de estudar os conceitos de Guerra Eletrônica e suas aplicações na Força Aérea Brasileira (FAB), bem como introduzir na formação do oficial aviador, intendente e de infantaria conhecimentos quanto às inovações tecnológicas em operações na FAB. Dentre os vários assuntos discutidos, há bastante interesse dos integrantes do clube no desenvolvimento dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT).

Com essa motivação, foi idealizado um projeto no CGE denominado Projeto VANT, com o objetivo de possibilitar aos cadetes o desenvolvimento e aplicação de um VANT entre uma das atividades do Corpo de Cadetes da Aeronáutica (CCAer).

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) define VANT ou UAV como:

Veículo aéreo motorizado que não transporta um operador humano, usa forças aerodinâmicas para a sustentação aérea, pode voar de maneira autônoma ou ser pilotado por controle remoto, pode ser descartável ou recuperável e pode transportar uma carga útil letal ou não letal. (VANE, 2006, p. 9).

De acordo com Cianflone (2011), o VANT é um tipo de aeronave sem piloto que pode voar

de forma autônoma e remotamente controlada, em ações de monitoramento, reconhecimento e vigilância, entre outras. Sua principal vantagem em relação aos demais veículos é a capacidade de realizar ações táticas de inteligência sem colocar vidas humanas em risco.

Essas duas definições exprimem a versatilidade das missões realizadas por uma aeronave autônoma, sendo que a grande relevância desse tipo de aeronave é a possibilidade de preservar o recurso humano, principalmente quando se trata de uma missão de guerra.

A aplicabilidade do VANT abrange a esfera civil e a militar, principalmente, em monitoramento, reconhecimento e vigilância (ALBANO, 2008).

No âmbito militar, a campanha do Afeganistão chamou a atenção porque lá os VANT realmente começaram a atacar alvos, além de buscarem informações. Já no âmbito civil, na tríplice fronteira (Brasil, Argentina e Paraguai), no sul do país, a Polícia Federal opera VANT israelenses, adquiridos para o combate ao tráfico e ao contrabando (CIANFLONE, 2011). Sendo assim, é de suma importância que o cadete da aeronáutica conheça sistemas e tecnologias que possibilitem equilibrar o potencial das Forças Armadas do Brasil frente às demais, principalmente, considerando que a FAB é alicerçada na tecnologia, tanto embarcada quanto terrestre.

Com a utilização desse tipo de aeronave na FAB será possível preservar os recursos humanos, expandir diversas áreas do conhecimento e adquirir independência tecnológica de outros países, bem como estar adaptado às novas demandas de mercado.

O Projeto VANT, do CGE, não foi concebido de forma prática, mas apenas teórica, e desde 2010 nenhum trabalho ou pesquisa foi desenvolvido com a finalidade de se tornar possível e viável este projeto. Alguns pesquisadores da área iniciaram no ano de 2011 trabalhos e projetos que tinham o objetivo de desenvolver essa vertente na AFA.

Para o desenvolvimento deste tipo de aeronave é preciso aplicar conceitos da eletrônica digital e computação, considerando que a aeronave será um robô programado e realizará uma determinada missão ou tarefa. Por isso, além de voar, ela terá de desempenhar uma determinada função operacional (ALBANO, 2008).

A proposta deste trabalho é abordar soluções para o desenvolvimento do Projeto VANT, do CGE, complementando os conhecimentos já adquiridos na Divisão de Ensino (DE) da AFA, em eletrônica

digital e computação por meio da tecnologia aberta (*Open Source*) ARDUINO e sobre diversos sensores capazes de manter um aeromodelo elétrico em voo autônomo planado de forma estável, e controlado por um sistema de navegação embarcado. Com isso se propõe a aplicação de um teste para o desenvolvimento futuro de uma bomba inteligente guiada pelo Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS).

Procurou-se também analisar e aplicar meios viáveis para o desenvolvimento da estabilidade de voo planado de um aeromodelo elétrico para aterragem autônoma em um ponto predeterminado (alvo), simulando o emprego de um artefato lançado de uma aeronave e guiado pelo GPS.

## 1.2 Materiais e método

O modelo de um aeroplano é uma versão reduzida de um aeroplano em seu tamanho normal. Os modelos e os objetos em seu tamanho normal têm os mesmos tipos de relação entre os comprimentos de suas diferentes partes. [...] Um modelo é apenas um meio de transferir alguma relação de sua forma real para outra forma. (BOLTON, 1993, p. 4).

Conforme Bolton (1993), a diferença entre um aeromodelo e um avião de tamanho real está apenas na escala. Por isso é válido considerar um aeromodelo similar a um avião que possa ser pilotado adequadamente, em um ambiente experimental.

Nos finais de semana, há operações de planadores na pista do setor leste da AFA, pista 02R (Cabeceira 02 direita)/pista 20L (Cabeceira 20 esquerda), sendo esta operação coordenada pelos próprios cadetes pertencentes ao Clube de Voo a Vela (CVV) e supervisionada pela Divisão de Instrução de Voo (DIV).

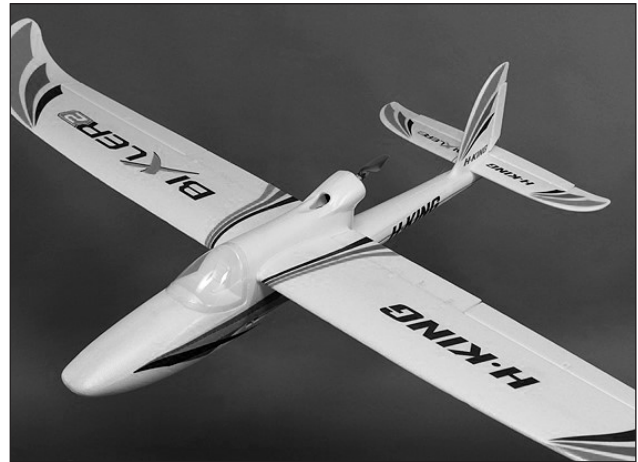
O modelo de planador pode ser desprovido de motor e sua razão de planeio é que representa sua eficiência aerodinâmica. Essa razão é, em média, muito mais elevada que a de um avião convencional, sendo que umas das vantagens de um planador está na suavidade da pilotagem e na estabilidade do voo.

Assim como há aeromodelos de aviões convencionais, também há modelos de planadores. Como exemplo pode-se citar o aeromodelo BIXLER2 da *Hooby King* (Figura 1). Esse modelo tem as mesmas características aerodinâmicas de um planador. Suas asas são longas e sua estrutura é de isopor para reduzir a massa, porém, diferentemente dos planadores pilotados pelos cadetes no CVV, esse aeromodelo está equipado com um motor para possibilitar sua ascensão.

<sup>1</sup> Parte frontal da aeronave.

<sup>2</sup> Parte traseira da aeronave.

Figura 1 – BIXLER2 da *HoobyKing*.



Fonte: Toywing... (2013).

O BIXLER2 é equipado com quatro servomotores para controle de suas superfícies de comando, um para cada aileron, um para o profundor e um para o leme, sendo também equipado com *flaps*, os quais são atuados por servomotores independentes. De acordo com esta pesquisa, a operação do motor e dos *flaps* estará sempre a comando do operador via rádio controle.

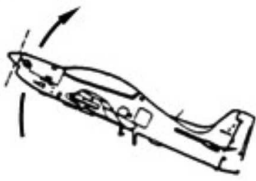
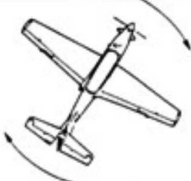
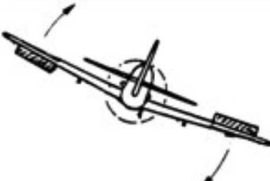

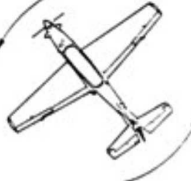

Os eixos de controle de um avião ou de um aeromodelo são: longitudinal, transversal e vertical. Todos controlados pelas respectivas superfícies de comando primárias ailerons, profundor e leme. Todo avião é controlado por essas superfícies e assim se tem movimento em todas as direções possíveis.

Para entender melhor os eixos de uma aeronave, há a especificação do movimento de cada eixo, conforme Figura 2.

No eixo transversal, o avião levanta ou abaixa o seu nariz<sup>1</sup> pelo movimento do profundor. Quando este é defletido para cima cria uma força aerodinâmica para baixo, deslocando o nariz para cima, quando defletido para baixo, ocorre o inverso. Esse movimento é chamado de arfagem ou *pitch* e determina a atitude do avião em relação ao horizonte. Esse eixo altera o ângulo de ataque das asas, componente vital da sustentação.

No eixo vertical, o nariz do avião gira no sentido horizontal, da direita para a esquerda e vice-versa. Esse movimento ocorre pela atuação do leme. Quando este é defletido para a direita cria uma força aerodinâmica na cauda<sup>2</sup> para a esquerda, deslocando o nariz da aeronave para a direita e quando defletido para a esquerda, ocorre o contrário. Este movimento é chamado de guinada

**Figura 2** – Eixos de movimentos de uma aeronave.

Profundor (Elevator)	Leme (Rudder)	Aileron
 <p>Cabrar o avião</p>	 <p>Guinar para a direita</p>	 <p>Rolar para a direita</p>
<p>Pitch</p>	<p>Yaw</p>	<p>Roll</p>
 <p>Picar</p>	 <p>Guinar para esquerda</p>	 <p>Rolar para a esquerda</p>
<p>Eixo transversal</p>	<p>Eixo vertical</p>	<p>Eixo longitudinal</p>

Fonte: Toywing... (2013).

ou *yaw*. Por meio do leme se corrige a coordenação da aeronave devido ao vento relativo, bem como, é a superfície responsável pela manutenção da proa da aeronave.

No eixo longitudinal, o avião gira em torno da linha imaginária que interliga o nariz à cauda pelo movimento alternado dos ailerons. A asa que deflete o aileron para cima diminui sua sustentação e a asa que deflete o aileron para baixo a aumenta, assim ocorre o movimento de rolagem ou *roll*.

Vale ressaltar que os ailerons, profundor e leme são superfícies de comando primárias, pois atuam diretamente na resultante das forças aerodinâmicas do avião, modificando sua trajetória, atitude e coordenação.

No aeromodelo BIXLER2 a atuação das superfícies de comando se processa como explicado anteriormente, entretanto, para o cumprimento do objetivo, esse modelo deverá desenvolver um voo planado.

O voo planado é caracterizado quando o avião é impulsionado por uma força resultante entre a sustentação, o peso e o arrasto, sendo a sustentação menor que o peso (CAROLINE, 2007). Essa definição orienta o voo analisado neste trabalho.

De acordo com as regras de voo por instrumentos, a razão de descida de uma aeronave deverá ser de 500 ft/min a 1000 ft/min ou 2,54 m/s a 5,08 m/s, as quais serão utilizadas neste trabalho. No entanto a razão ideal de descida deverá ser verificada considerando os aspectos aerodinâmicos do aeromodelo BIXLER2 com

os equipamentos do *kit* controlador embarcados, que implica em uma massa maior do aeromodelo.

### 1.2.1 Etapas do roteiro dos testes

a) Etapa I: verificar o código e carregá-lo no ARDUINO

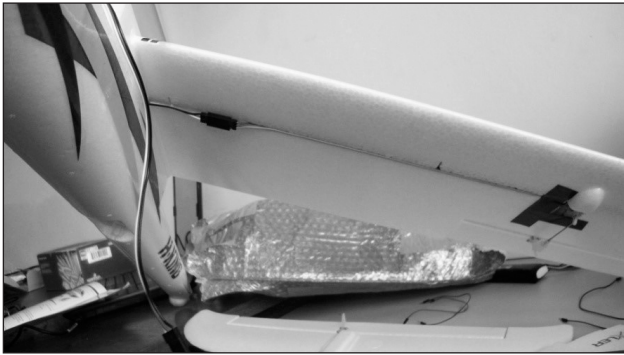
O código carregado no ARDUINO é o **Piloto\_1**, que possui na sua função *loop* uma sequência de condições que transformam as variações de rolagem e de arfagem em sinais digitais para controlar todos os quatro servomotores (BANZI, 2011). Nesse código é necessária a inclusão da biblioteca **<Servo.h>**, responsável pela funcionalidade dos servomotores.

b) Etapa II: analisar a atuação do sensor MMA8542Q

Antes de se montar o aeromodelo é preciso colocar todos os servomotores na posição neutra, ou seja, o eixo a 90 graus (Figura 3). Nesse intento, foi elaborado um código para determinar o ângulo de 90 graus e instalar o braço mecânico do servo. O código usado foi o **CALIBRAR\_90**.

Com os servos na posição neutra, foi realizado um teste com os quatro servomotores para se verificar a amplitude máxima que seria usada no aeromodelo. Como resultado, verificou-se que a variação adequada para a utilização foi de  $\pm 55$  graus para mais ou para menos, ou seja, 55 graus para cima ou para baixo.

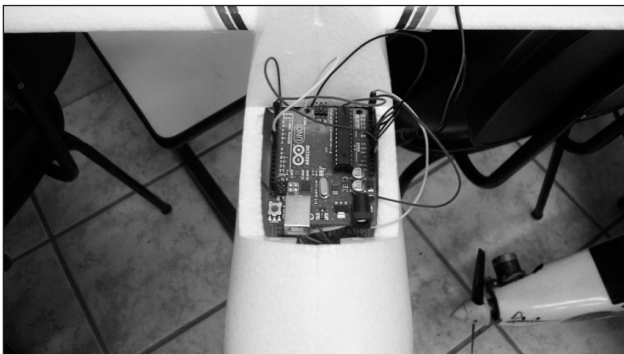
Ao montar os servomotores nas superfícies de comando, verificou-se que a atuação dos motores foi suave, coordenada e de acordo com a correção necessária para se manter um voo com as asas niveladas. Com isso a montagem do aeromodelo foi finalizada com sucesso.

**Figura 3** – Calibração<sup>3</sup>.

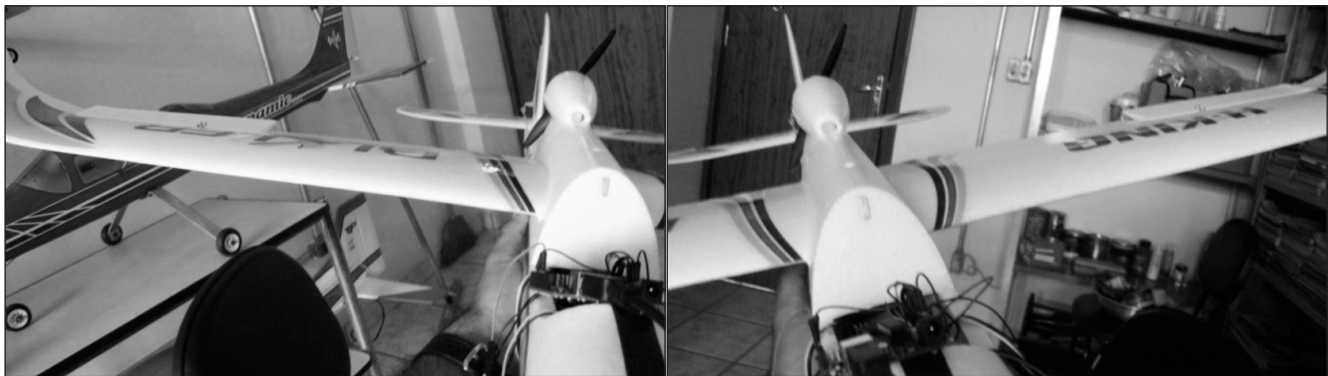
Fonte: O autor.

c) Etapa III: instalar o ARDUINO e o sensor MMA8452Q no aeromodelo

Durante a montagem do aeromodelo *BIXLER* da *Hobby King* foi possível adaptar a *protoboard* dentro do aeromodelo em um compartimento que seria utilizado para colocar a bateria (Figura 4). Vale ressaltar que a manutenção do Centro de Gravidade (CG) foi levada em consideração. Dessa forma, é possível preservar o equipamento embarcado, caso ocorra uma queda inesperada do aeromodelo.

**Figura 4** – Instalação do ARDUINO/MMA8452Q no BIXLER.

Fonte: O autor.

**Figura 5** – Atuação dos ailerons.

Fonte: O autor.

d) Etapa IV: verificação, em solo, da tendência de correção dos servomotores nas superfícies de comando.

Após montar o aeromodelo e instalar o conjunto controlador no interior do BIXLER, verificou-se que as superfícies de comando, ailerons (Figura 5) e profundor buscavam a estabilidade de voo por meio das asas e profundor, entretanto o leme não atuou como o esperado, pois o eixo Z do *chip* MMA8452Q, responsável pela leitura da variação no entorno do eixo vertical é o eixo referência do *chip*. Com respeito à variação da força da gravidade e à atuação no leme de direção só se faz quando aplicado um impulso vertical ao aeromodelo, sendo isso impraticável durante um voo planado.

O resultado atendeu as expectativas satisfatoriamente, já que o leme pode ser desconsiderado, visto que para a estabilidade de voo os ailerons mantêm a aeronave com as asas niveladas e o profundor atua no ângulo de ataque, o qual é indispensável pela manutenção da sustentação.

A fonte externa utilizada é a bateria *lithium polymer* (LiPo) do aeromodelo BIXLER e, para converter os 11,1 V com 1800 mAh para 5,0 V com 500 mAh, foi instalado um regulador de tensão do *ARDUPILOT* no sistema de alimentação do ARDUINO UNO.

Como fonte de alimentação do aeromodelo foi utilizada uma bateria do tipo *lithium polymer* (LiPo) de três células (3S), que apresenta 11,1 V de tensão nominal com uma corrente de 1800 mAh. Para a alimentação do ARDUINO UNO, foi necessária a utilização de um regulador de tensão do *ARDUPILOT*.

Quanto à velocidade das respostas das superfícies de comando às mudanças de atitude do aeromodelo, foi verificado que é possível obter correções em um voo no ambiente de forma adequada e suave, sendo que a atuação dos servos é diretamente proporcional à velocidade de mudança de atitude.

<sup>3</sup> Calibração, nesse contexto, está sendo utilizado para se determinar a posição neutra dos servomotores, diferente da definição de calibração descrita no Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) (BRASIL, 2012).

Analisando os resultados obtidos, percebeu-se que o MMA8452Q realmente cumpriu o objetivo de ler as variações dos eixos e que o ARDUINO executou, conforme o código estabelecido, a tradução das leituras em PWM, aplicando-se nos eixos dos servomotores, os respectivos ângulos.

Como já mencionado, não foi possível atuar no leme, pois a variação do eixo vertical no sensor não é angular, mas varia apenas em intensidade devido à condição de o MMA8452Q ser um acelerômetro e depender da força da gravidade, a qual é orientada no mesmo sentido do eixo vertical. Com isso, no teste verificou-se a necessidade de se utilizar outro sensor capaz de atuar nesse eixo.

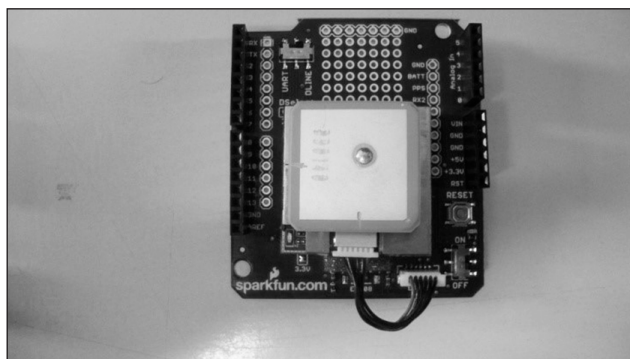
Como solução optou-se pela utilização do módulo GPS EM-406A como controle de guinada, visto que é possível manter uma proa ideal para um ponto predeterminado pelos dados do GPS.

### 1.2.2 Módulo GPS EM-406A

Este módulo, que é fabricado pelo USGLOBALSAT baseado no *chipset SIRF STARIII* e distribuído pela *Sparkfun*, contém um *led* para indicar o status de energização e outro para indicar a operação de recepção de sinais satélites, devendo este permanecer piscando para indicar a recepção desses sinais.

Para a operação com a placa ARDUINO UNO, utiliza-se uma placa *Shield* como demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Shield GPS EM-406A.



Fonte: O autor.

### 1.2.3 Sistema GPS

O Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System – GPS*) ou *Navigation Satellite with Time And Ranging (NAVSTAR-GPS)* é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo *Department Of Defense (DoD – Departamento de Defesa dos Estados*

Unidos da América), que visa ser o principal sistema de navegação do exército americano. Em razão da alta exatidão proporcionada pelo sistema e do alto grau de desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu nas mais variadas aplicações civis (PEREIRA, 2007).

Após um acidente aéreo ocorrido na Coreia em 1983, com 269 vítimas, devido a uma interceptação e abate de uma aeronave comercial que voava em um espaço aéreo proibido, por um caça soviético, provavelmente devido a um erro de navegação, o Presidente Ronald Reagan anunciou que o GPS estaria disponível para uso civil. Em 1996, o Presidente Bill Clinton declarou oficialmente o GPS para uso dual, civil e militar, e criou a Agência Internacional de Gestão Executiva do GPS.

O GPS é formado por uma constelação de 24 (vinte e quatro) satélites em órbita na Terra. A distribuição desses satélites é dividida em 6 (seis) planos de órbita com 4 (quatro) satélites em cada uma e essa arquitetura permite a recepção simultânea de sinais de 7 (sete) satélites em qualquer posição do planeta.

Para a determinação da posição, o receptor GPS necessita receber sinais de onda eletromagnética de 3 (três) satélites, no mínimo, para ter condições de realizar uma trilateração do tempo de recepção desses sinais, obtendo assim sua posição no espaço. A posição GPS corresponde à intersecção dos sinais dos satélites, sendo possível determiná-la de forma tridimensional, ou seja, pela latitude, longitude e altitude.

Para o funcionamento do receptor GPS existem dois protocolos que codificam as informações de posição transportadas pelas ondas eletromagnéticas em caracteres específicos, formando, assim, um padrão de linguagem. Esses protocolos são o NMEA 0183 da *National Marine Electronics Association* e o GARMIN, sendo este uma modificação do primeiro.

O protocolo de comunicação é, basicamente, um padrão de linguagem entre componentes eletrônicos, que viabiliza a interpretação de elementos físicos, como ondas, pressão ou temperatura em pulsos elétricos caracterizados por bits, devido à linguagem binária.

O protocolo de comunicação NMEA 0183 é utilizado pela maioria dos aparelhos GPS. É baseado em ASCII e transmitido serialmente. Segundo esse protocolo, a comunicação é feita por mensagens que seguem normas estabelecidas pela NMEA. Segundo Karasinski (2009, p. 37):

ASCII é uma sigla para “American Standard Code for Information Interchange” (Código Padrão Norte-Americano para Intercâmbio de Informações). Esse código foi proposto por Robert W. Bemer, visando padronizar os códigos para caracteres alfa-numéricos (letras, sinais, números e acentos). Assim seria possível que computadores de diferentes fabricantes conseguissem entender os códigos. O ASCII é um código numérico que representa os caracteres usando uma escala decimal de 0 a 127. Esses números decimais são então convertidos pelo computador para binários e ele processa o comando. Sendo assim, cada uma das letras que você digitar vai corresponder a um desses códigos.

Atualmente, esse sistema é indispensável para navegação aérea, terrestre ou submarina devido a sua confiabilidade e exatidão.

## 2 COLETA DE RESULTADOS COM CARTÃO MICRO-SD

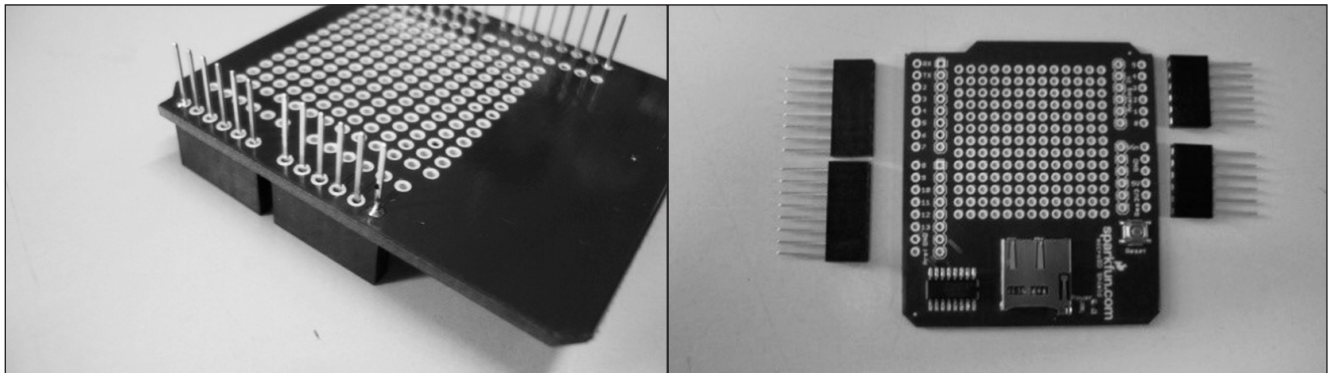
O roteiro de testes contemplou apenas o sensor do MMA8452Q responsável pela estabilidade de voo. Para os sensores EM-406A e BMP085, o teste deveria ser aplicado em condições de voo real. Para isso, embarcou-se o microcontrolador ARDUINO com o módulo GPS EM-406A em uma aeronave T-27 Tucano, da AFA.

Como não há nenhum *display* acoplado ao módulo acima citado, foi necessário utilizar uma forma alternativa de gravação dos dados GPS, por meio de uma placa impressa *Shield* Micro-SD (Figura 7), permitindo-se assim que o ARDUINO gravasse os dados.

A *Shield* Micro-SD possui a mesma pinagem do ARDUINO, assim como a *Shield* EM-406A. As *Shields* são usadas para acoplar diversos sensores no ARDUINO sem isolar os pinos do ARDUINO que serão utilizados por outros sensores.

Conforme Pereira (2007), é criado um percurso mapeado no *Google Earth* por meio dos dados GPS coletados. Considerando essa publicação como referência, a gravação dos dados GPS se fez por meio de um cartão de memória Micro-SD. Para a utilização deste cartão, é necessário obter a biblioteca <SD.h>.

Figura 7 – Shield Micro-SD.

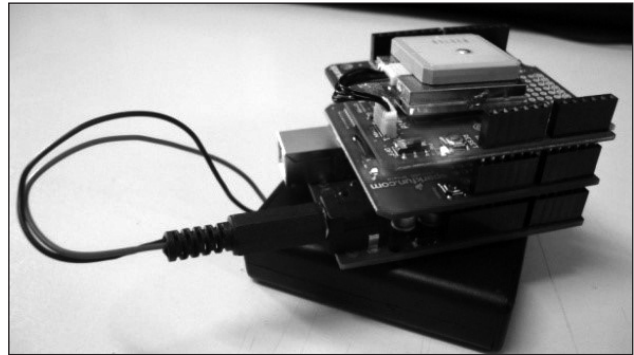


Fonte: O autor.

Segundo Aloï (2012), o protocolo de comunicação desse cartão é o SPI de interface ISP, que não suporta cartões com mais de 4 gigabytes. Para a inicialização do cartão, é necessário enviar um byte para o cartão e verificar se o mesmo é gravado, caso contrário, o cartão não funcionará.

Para este trabalho foi adquirido uma *Shield* Micro-SD da *Sparkfun*, conforme mostrado na Figura 7. Após a montagem o ARDUINO é equipado com as duas *Shields*, Micro-SD e EM-406, conforme Figura 8.

Figura 8 – ARDUINO com Micro-SD e EM-406A.



Fonte: O autor.

O teste deste *kit* foi realizado em um voo na aeronave T-27 Tucano em uma missão de voo por instrumentos do curso avançado de Oficiais Aviadores no 1º Esquadrão de Instrução Aérea (1º EIA). A missão realizada tem o objetivo de capacitar os cadetes aviadores do 4º Esquadrão da AFA a realizarem procedimentos de aproximação por instrumentos. Esse teste teve o objetivo de verificar a gravação dos dados GPS em cartão Micro-SD por meio do ARDUINO, de acordo com classificação descrita por Gamboa (2008).

O código elaborado especificamente para este trabalho tem a função de dar instruções ao ARDUINO de como realizar as leituras dos sinais GPS e gravá-las em um arquivo com extensão CSV em Excel. Na Tabela 1, é possível verificar os dados coletados em voo, bem como indicadores que geraram o percurso executado.

**Tabela 1** – Dados do voo com a aeronave T-27 Tucano, da AFA.

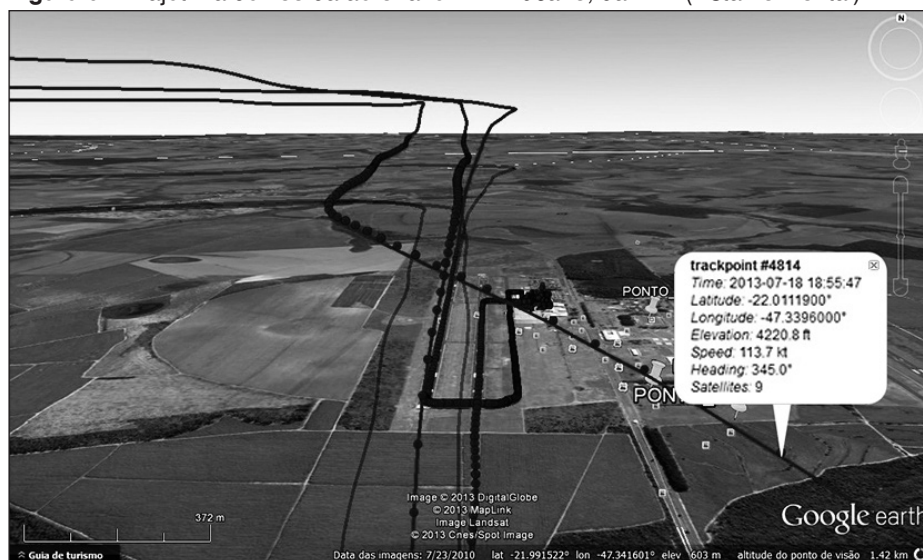
hour	minute	second	latitude	longitude	speed	day	month	year	altitude	course	satellites
17	36	28	-21.98113	-47.33849	-1.00	0	0	2000	618.60	1000.00	4
17	36	29	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	619.60	1000.00	4
17	36	30	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.10	1000.00	4
17	36	31	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	621.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.00	12.67	4
17	36	33	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.40	12.67	4
17	36	34	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.60	12.67	4
17	36	35	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.80	12.67	4
17	36	36	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.10	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.20	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.20	15.17	4
17	36	38	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.30	15.17	4
17	36	39	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.50	15.17	4
17	36	40	-21.98112	-47.33850	0.20	18	7	2013	623.90	15.17	4
17	36	42	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	1000000.00	192.49	255
17	36	43	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.00	192.49	4
17	36	44	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.30	192.49	4
17	36	45	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.50	192.49	4
17	36	46	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.70	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.80	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	623.80	347.72	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	624.00	347.72	4

Fonte: O autor.

Esses dados são manipulados no *site* específico para obtenção de um arquivo de extensão KMZ. Consultado esse arquivo KMZ no *Google Earth* é possível visualizar

a trajetória com dados de posição geográfica, velocidade, proa, altitude, data e hora, conforme se pode verificar na Figura 9.

**Figura 9** – Trajetória de voo da aeronave T-27 Tucano, da AFA (vista horizontal).



Fonte: O autor.

Na Figura 10 também é possível acompanhar os trabalhos desenvolvidos com o sistema. Por estas imagens percebe-se a importância da utilização de um Micro-SD na verificação da trajetória realizada pelo aeromodelo para analisar a manutenção da rampa de descida do voo planado sob uma perspectiva 3D, bem como é possível verificar, ponto a ponto, dados de velocidade, proa, altitude, posição geográfica, etc.

Também é possível criar um banco de dados com as missões realizadas e, assim, é possível aperfeiçoar os processos de programação do ARDUINO, aumentando-se a exatidão do voo com respeito à rampa e ao pouso no alvo.

Com esses procedimentos e materiais é possível planejar missões com diferentes vertentes de execução e prática, sendo uma delas esta que foi proposta para mapeamento e atingimento de alvo predefinido. Por fim, é possível aprimorar e aplicar a missão com material explosivo, levando-se em conta, por exemplo, a aplicação de bomba guiada (CASTRO, 2013).

### 3 CONCLUSÃO

O Projeto VANT é uma considerável iniciativa do CGE em motivar os cadetes ao desenvolvimento científico, bem como desenvolver a possibilidade de colocar em prática os conhecimentos adquiridos. Para tornar um simples aeromodelo elétrico em um VANT na sua concepção completa, são necessários pesquisa e desenvolvimento. Este trabalho foi desenvolvido somente no sistema de aterragem de um VANT aplicado

na simulação de um artefato lançado de uma aeronave, para que possa tocar o solo no ponto predeterminado, como descrito.

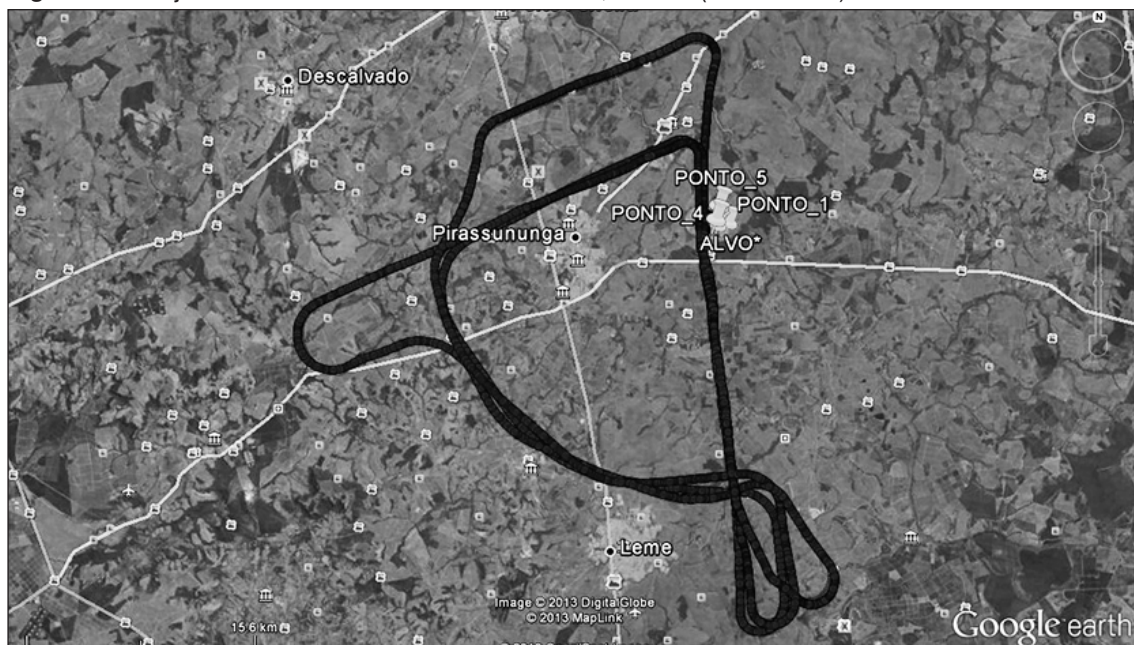
Para isso, a utilização de microcontroladores em processo de automação é a possibilidade que o CGE tem para aplicar os conhecimentos teórico dos cadetes. Entre os vários microcontroladores encontrados no mercado atualmente, optou-se pela utilização da tecnologia ARDUINO, pois se trata de um microcontrolador aberto ao desenvolvimento. Ao embarcar esse microcontrolador em um aeromodelo elétrico foi possível desenvolver um VANT, mesmo que de forma inicial para o trabalho experimental.

Para a realização do trabalho foi necessária a utilização de sensores com a capacidade de perceber variações ambientais afetas ao voo, como variações de altitude, distância, velocidade e proa, considerada uma navegação curta balizada pelo sistema GPS.

Neste trabalho os sensores têm o papel decisivo na manutenção do voo planado, bem como na navegação do aeromodelo BIXLER2. A comunicação entre microcontrolador e sensores foi desenvolvida na linguagem C/C++. Assim os resultados são os dados coletados em um cartão Micro-SD, os quais permitem o aperfeiçoamento da metodologia aplicada neste projeto, com vistas a melhores resultados em projetos futuros do CGE.

Este trabalho de campo é um passo importante para os novos trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na AFA no que tange a temática e à aplicação prática de VANT.

**Figura 10** – Trajetória de voo da aeronave T-27 Tucano, da AFA (vista vertical).



Fonte: O autor.



## REFERÊNCIAS

ALBANO, L. H. **Sistema de identificação de células**. 2008. 68f. Monografia (Engenharia da Computação) - Universidade Positivo, Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.leandrohsouza.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

ALOI, R. **Curso Arduino Advanced - Aula 21 (SD CARD)**. Vídeo aula. 2012. Disponível em: <<http://www.youtube.com/user/graccula>>. Acesso em: 26 maio 2013.

BRASIL. **Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim\\_2012.pdf](http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2017.

BANZI, M. **Primeiros passos com Arduino**. [Tradução Rafael Zanolli]. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

BOLTON, W. **Engenharia de controle**. Tradução Valceres Vieira Rocha e Silva. São Paulo: Makron Books, 1993.

CAROLINE, A. **Como elaborar um roteiro de testes**. Grupo de testadores de Software. 2007. Disponível em: <<http://gtsw.blogspot.com.br>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

CASTRO, F. **Bombas Guiadas SMKB – Acauã**. Disponível em: <<http://sistemasdearmas.com.br/pgm/smkb.html>>. Acesso em: 27 ago. 2013.

CIANFLONE, R. **Vants a nova tendência em aeronaves**. Disponível em: <<http://www.aereo.jor.br/2011/06/15/vants-a-nova-tendencia-em-aeronaves/>>. Acesso em: 27 ago. 2011.

GAMBOA, P. V. **Subida e descida**. Mecânica de voo I – 7631. 2008. Disponível em: <<http://webx.ubi.pt>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

KARASINSKI, E. **Novas tecnologias: jogos interativos**. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/webcam/2394-novas-tecnologias-jogos-interativos.html>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

PEREIRA, L. A. **Atualização da rede GPS de São Carlos e a avaliação do método PPP em comparação com o ajustamento de redes geodésicas**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

TOYWING tudo sobre aeromodelo. Disponível em: <<http://www.toywing.com.br/>>. Acesso em: 23 maio 2013.

VANE, J. C. de. **Applicability of unmanned aerial systems to homeland defense missions**. 2006. 101 p. Master's Thesis - Naval Postgraduate School – NPS, Monterey, CA, 2006, p. 9-10.

# UAV Project: development of a test for the elaboration of a GPS-guided bomb in the Electronic Warfare Club of the Air Force Academy

*Proyecto VANT: desarrollo de una prueba para elaborar una bomba teleguiada por GPS en el Club de Guerra Electrónica de la Academia de la Fuerza Aérea*

*Projeto VANT: o desenvolvimento de uma bomba teleguiada por GPS no clube de guerra eletrônica da Academia da Força Aérea*

Lucas Luiz de Ávila<sup>I</sup>

Bruno Eduardo Teixeira<sup>II</sup>

Simon Skarabone Rodrigues Chiacchio<sup>III</sup>

Adriano Rogério Bruno Tech<sup>IV</sup>

## ABSTRACT

The UAV Project of the Air Force Academy (AFA) Electronic Warfare Club (CGE) was originally designed to motivate cadets enrolled in the club to develop operating systems for an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Therefore, this article suggests the application of this PROJECT in an electric model aircraft controlled by a microcontroller. In this context the model aircraft used was the Hooby King BIXLER2 and the micro-controller, an ARDUINO UNO board. With these materials, it was proposed to use the model aircraft in the simulated launch of an aircraft-based artifact, guided by the Global Positioning System (GPS) for landing at a predetermined point (target). Simulating a smart bomb, the challenge of the project could be positively concluded through the results achieved by the different missions and verified by the course developed and mapped in an AFA's T-27 Tucano aircraft.

**Keywords:** UAV. ARDUINO UNO. GPS. Smart bomb.

## RESUMEN

*El proyecto VANT, del Club de Guerra Electrónica (CGE) de la Academia de la Fuerza Aérea (AFA), fue inicialmente concebido para motivar, los cadetes integrantes del club, en cuanto al desarrollo de sistemas operativos de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). De esta forma este artículo sugiere la aplicación de este PROYECTO en un aeromodelo eléctrico controlado por un microcontrolador. En este contexto el aeromodelo utilizado fue el BIXLER2 de Hooby King y el microcontrolador una placa ARDUINO UNO. Con estos materiales, se propuso utilizar el aeromodelo en el lanzamiento simulado de un artefacto embarcado en una aeronave, guiado por el Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System - GPS) para aterrizaje en un punto predeterminado (objetivo) Simulando una bomba inteligente, se pudo completar positivamente el desafío del proyecto por los resultados obtenidos por las diferentes misiones y verificado por la ruta asignada y desarrollada en una aeronave Tucano T-27, de AFA.*

**Palabras-clave:** VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

I. Air Force Academy (AFA) – Pirassununga/SP – Brazil. Cadet Aviator of the 4<sup>th</sup> Squadron. *E-mail:* lucasavila29@gmail.com

II. Air Force Academy (AFA) – Pirassununga/SP – Brazil. 1<sup>st</sup> Magisterium Lieutenant (Physics). PhD in Environmental Engineering by University of São Paulo (USP) – São Carlos/SP. *E-mail:* br\_edu@hotmail.com

III. Aeronautical Logistic Institute (ILA) – Guarulhos/SP – Brazil. 1<sup>st</sup> Maneger Lieutenant (Physics). Post-Doctorate by Faculty of Economics, Administration and Accounting (FEA/USP) – Ribeirão Preto/SP. *E-mail:* skarabone@usp.br

IV. College of Animal Science and Food Engineering (FZEA/USP) – Pirassununga/SP – Brazil. Associate Professor of the Stricto Sensu Postgraduate Program in Management and Innovation in the Animal Industry of FZEA/USP. *E-mail:* adriano.tech@usp.br

Received: 08/02/2016

Accepted: 11/16/2017

VANT is the acronym in Portuguese for Unmanned Aerial Vehicle, Veículo Aéreo Não Tripulado, which in English corresponds to the abbreviation UAV. The other acronyms and abbreviations contained in this article correspond to the ones used in the original article in Portuguese.

## RESUMO

*O Projeto VANT do Clube de Guerra Eletrônica (CGE) da Academia da Força Aérea (AFA) foi, inicialmente, concebido para motivar nos cadetes integrantes do clube o desenvolvimento de sistemas operacionais de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Desta forma este artigo sugere a aplicação deste PROJETO em um aeromodelo elétrico controlado por um micro-controlador. Neste contexto o aeromodelo utilizado foi o BIXLER2 da Hooby King e o micro-controlador, uma placa ARDUINO UNO. Com estes materiais, esta pesquisa propôs utilizar este aeromodelo no lançamento simulado de um artefato embarcado em uma aeronave, guiado pelo Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System - GPS) para aterragem em um ponto pré-determinado (alvo). Caracterizando uma bomba inteligente, pôde-se concluir positivamente o desafio do projeto por meio dos resultados conseguidos pelas diferentes missões e que pôde ser verificado pelo percurso desenvolvido e mapeado em outra aeronave da AFA.*

**Palabras-clave:** VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

## 1 INTRODUCTION

The Electronic Warfare Club (CGE) of the Air Force Academy (AFA) was founded in 2010 with the objective of studying the concepts of Electronic Warfare and its applications in the Brazilian Air Force (FAB), as well as introducing in the training of the aviation, logistics/administration and infantry officers, knowledge about technological innovations in operations in the FAB. Among the various issues discussed, there is a lot of interest among club members in the development of Unmanned Aerial Vehicles (UAV).

With this motivation, a project was conceived in the CGE called UAV Project, with the objective of enabling the cadets to develop and apply a UAV among one of the activities of the Aeronautics Cadet Corps (CCAer).

The United States Department of Defense (DoD) defines UAV as:

A motor air vehicle that does not carry a human operator, uses aerodynamic forces for air support, can fly autonomously or be remotely piloted, it can be disposable or retrievable and carry a lethal or non-lethal payload. (VANE, 2006, p. 9).

According to Cianflone (2011), UAV is a type of a pilotless aircraft that can fly autonomously and

be remotely controlled, in actions of monitoring, recognition and surveillance, among others. Its main advantage over other vehicles is the ability to perform tactical intelligence actions without putting human lives at risk.

These two definitions express the versatility of the missions carried out by an autonomous aircraft, and the great relevance of this type of aircraft is the possibility of preserving the human resource, especially when it is a war mission.

The applicability of the UAV covers the civil and military sphere, mainly in monitoring, recognition and surveillance (ALBANO, 2008).

In the military scope, Afghanistan's campaign drew attention because there the UAVs actually started attacking targets, besides seeking for information. In the civil scope, on the triple border (Brazil, Argentina and Paraguay), in the south of the country, the Federal Police operate Israeli UAVs, acquired to combat trafficking and smuggling (CIANFLONE, 2011). Therefore, it is extremely important that the aeronautical cadet knows about systems and technologies that make it possible to balance the potential of the Brazilian Armed Forces against the others, especially considering that the FAB is based on technology, both onshore and offshore.

With the use of this type of aircraft in the FAB it will be possible to preserve human resources, expand several areas of knowledge and acquire technological independence from other countries, as well as being adapted to the new market demands.

The CGE UAV Project was not designed in a practical way, but only theoretical, and since 2010 no work or research has been developed with the purpose of making this project possible and feasible. Some researchers in the area started in 2011 works and projects that had the objective of developing this aspect at AFA.

The development of this type of aircraft requires the application of concepts of digital electronics and computing, considering that the aircraft will be a programmed robot and will perform a certain mission or task. Therefore, in addition to flying, it will have to perform a given operational function (ALBANO, 2008).

The proposal of this work is to address solutions for the development of the CGE UAV Project, complementing the knowledge already acquired in the Division of Teaching (DE) at the

Air Force Academy, in digital electronics and computing through ARDUINO open source technology and on several sensors capable of maintaining an electric model airplane in an autonomous flight glided steadily, and controlled by an embedded navigation system. With this, it is proposed to apply a test for the future development of a smart bomb guided by the Global Positioning System (GPS).

It was also sought to analyze and apply feasible means for the development of the gliding flight stability of an electric aircraft model for autonomous landing at a predetermined point (target), simulating the use of an artifact launched from an aircraft and guided by GPS.

## 1.2 Materials and method

The model of an airplane is a reduced version of an airplane in its normal size. Models and objects in their normal size have the same types of relationship between the lengths of their different parts. [...] A model is only a means of transferring some relation from its actual form to another form. (BOLTON, 1993, p. 4).

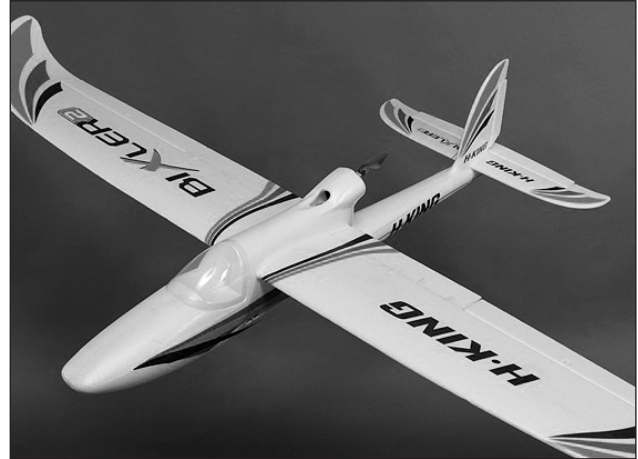
According to Bolton (1993), the difference between an aircraft model and a full-size airplane is only on the scale. It is, therefore, worth considering an aircraft model similar to an airplane that can be piloted properly, in an experimental environment.

On the weekends there are glider operations at AFA's eastern sector airstrip, airstrip 02R (Runway 02 right)/airstrip 20L (Runway 20 left), these operations are coordinated by the cadets who belong to the Gliding Club (CVV) and they are supervised by the Flight Instruction Division (DIV).

The glider model can be devoid of engine and its aerodynamic efficiency is represented by its glide ratio. This ratio is, on average, much higher than that of a conventional aircraft, and one of the advantages of a glider lies in the smooth handling and stability of the flight.

Just as there are aircraft model of conventional airplanes, there are also models of gliders. As an example, the Hooby King BIXLER2 aircraft model (Figure 1) can be mentioned. This model has the same aerodynamic characteristics of a glider. Its wings are long, and its structure is styrofoam to reduce mass, but unlike the gliders piloted by the cadets in the Gliding Club (CVV), this aircraft model is equipped with a motor to enable its ascent.

Figure 1 – BIXLER2 from HoobyKing.



Source: Toywing... (2013).

The BIXLER2 is equipped with four servomotors to control its control surfaces, one for each aileron, one for the elevator and one for the rudder, and it is also equipped with flaps, which are actuated by independent servomotors. According to this research, the operation of the engine and flaps will always be at the operator's control via radio control.

The control axes of an airplane or of an aircraft model are: longitudinal, transverse and vertical. All of them are controlled by the respective primary control surfaces ailerons, elevator and rudder. Every airplane is controlled by these surfaces and thus it has movement in all possible directions.

To better understand the axes of an aircraft, there is the specification of the movement of each axis, according to Figure 2.

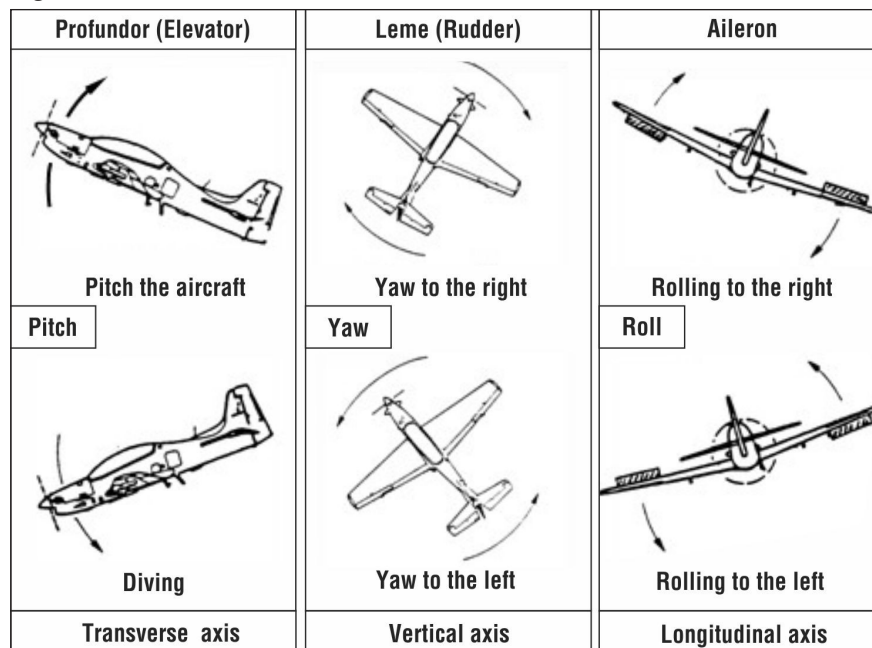
On the transverse axis, the airplane raises or lowers its nose<sup>1</sup> by the movement of the elevator. When it is deflected up it creates an aerodynamic downforce, shifting the nose upwards; when deflected down, the inverse occurs. This movement is called pitch and determines the attitude of the airplane in relation to the horizon. This axis changes the angle of attack of the wings, vital component of the support.

On the vertical axis, the nose of the airplane rotates horizontally, from the right to the left and vice versa. This movement occurs by the rudder. When it is deflected to the right, it creates an aerodynamic force on the tail<sup>2</sup> to the left, shifting the nose of the aircraft to the right, and when

<sup>1</sup> Front of the aircraft.

<sup>2</sup> Rear of the aircraft.

**Figure 2** – Axes of movements of an aircraft.



Source: Toywing... (2013).

deflected to the left, the opposite occurs. This movement is called yaw. The coordination of the aircraft is corrected through the rudder due to the relative wind, as well as the surface is responsible for maintaining the bow of the aircraft.

In the longitudinal axis, the airplane rotates around the imaginary line that interconnects the nose to the tail by the alternating movement of the ailerons. The wing that deflects the aileron upwards reduces its sustentation and the wing that deflates the aileron down increases it, thus the roll movement happens.

It is worth mentioning that the ailerons, elevator and rudder are primary control surfaces, because they act directly in the result of the aerodynamic forces of the airplane, modifying its trajectory, attitude and coordination.

In the BIXLER2 aircraft model the performance of the control surfaces is carried out as explained above, however, in order to achieve the objective, this model must carry out a gliding flight.

The gliding flight is characterized when the airplane is driven by a resultant force between the support, the weight and the drag, with the sustentation being smaller than the weight (CAROLINE, 2007). This definition guides the flight analyzed in this paper.

According to instrument flight rules, the descent rate of an aircraft should be 500 ft/min to 1000 ft/

min or 2.54 m/s to 5.08 m/s, which will be used in this paper. However, the ideal descent rate should be checked considering the aerodynamic aspects of the BIXLER2 aircraft model with the equipment of the embedded controller kit, which implies a larger mass of the aircraft model.

### 1.2.1 Steps of the test script

a) Step I: Check the code and load it in the ARDUINO

The code loaded in ARDUINO is **Piloto\_1**, which has in its loop function a sequence of conditions that transform the scroll and pitch variations into digital signals to control all four servomotors (BANZI, 2011). In this code it is necessary to include the library **<Servo.h>**, responsible for the functionality of the servomotors.

b) Step II: analyze the performance of the MMA8542Q sensor.

Before mounting the aircraft model, all servomotors must be placed in the neutral position, i.e., the axis at 90 degrees (Figure 3). In this intention, so a code was developed to determine the 90-degree angle and to install the servo mechanical arm. The code used was **CALIBRAR\_90**.

With the servos in the neutral position, a test was performed with the four servomotors to verify the maximum amplitude that would be used in the aircraft model. As a result, the variation suitable for use was found to be  $\pm 55$  degrees for more or less, i.e., 55 degrees upwards or downwards.

**Figure 3 – Calibration<sup>3</sup>.**



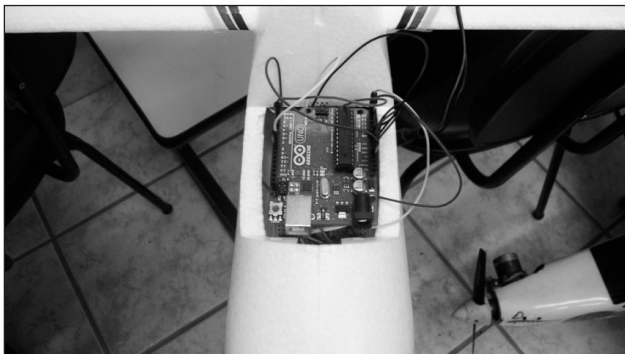
**Source:** O autor.

When mounting the servomotors on the control surfaces, it was verified that the motors' performance was smooth, coordinated and according to the necessary correction to maintain a flight with leveled wings. Therefore, the assembly of the aircraft model was successfully finished.

c) Step III: install the ARDUINO and the MMA8542Q sensor in the aircraft model.

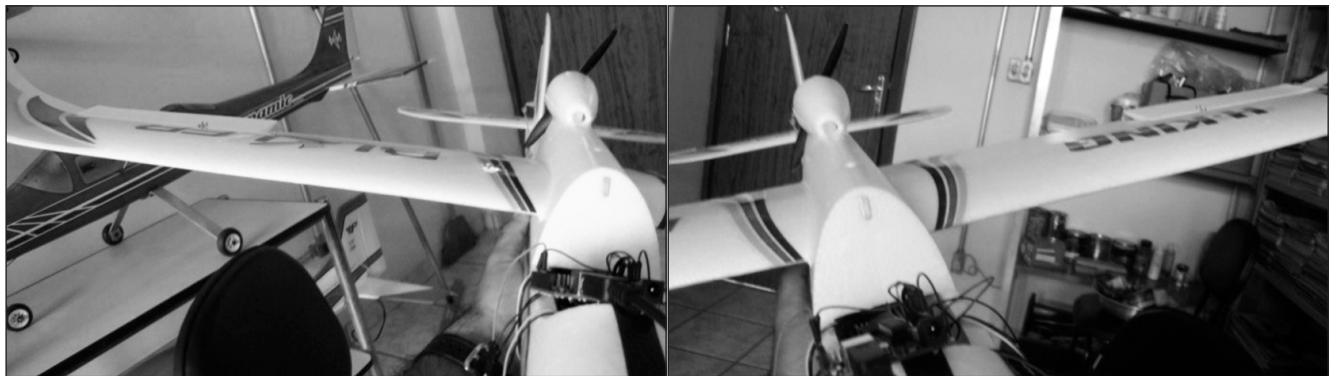
During the assembly of the aircraft model Hobby King BIXLER, it was possible to adapt the protoboard inside the

**Figure 4 – Installation of ARDUINO/MMA8452Q in BIXLER.**



**Source:** The author.

**Figure 5 – Ailerons performance.**



**Source:** The author.

model in a compartment that would be used to place the battery (Figure 4). It is noteworthy that the maintenance of the Center of Gravity (CG) was taken into account. In this way, it is possible to preserve the embedded equipment in case of an unexpected fall of the aircraft model.

d) Step IV: verification, on the ground, of the tendency of the servomotor to be corrected on the control surfaces.

After assembling the aircraft model and installing the control assembly inside the BIXLER, it was verified that the control surfaces, ailerons (Figure 5) and elevator searched for stability of flight through the wings and elevator, although the rudder did not act as expected, because the Z axis of the MMA8452Q chip responsible for reading the variation around the vertical axis is the reference axis of the chip. With respect to the variation of the gravity force and the action on the rudder, it is only done when a vertical thrust is applied to the aircraft model, which is impracticable during a gliding flight.

The result met the expectations satisfactorily, since the rudder can be disregarded, since the ailerons keep the aircraft with the wings leveled for the stability of the flight and the elevator acts in the angle of attack, which is indispensable for maintaining the support.

The external source used is the lithium polymer (LiPo) battery of the BIXLER aircraft model and, to convert the 11.1 V with 1800 mAh to 5.0 V with 500 mAh, an ARDUPILOT voltage regulator was installed in the ARDUINO UNO power system.

A 3-cell (3S) lithium polymer (LiPo) battery was used as the power supply for the model aircraft, which has 11.1 V nominal voltage with a current of 1800 mAh. In order to supply the ARDUINO UNO, it was necessary to use an ARDUPILOT voltage regulator.

As for the speed of the response of the command surfaces to the changes in attitude of the aircraft model,

<sup>3</sup> Calibration, in this context, is being used to determine the neutral position of the servomotors, different from the calibration definition described in the International Vocabulary of Metrology (VIM) (BRASIL, 2012).

it was verified that it is possible to obtain corrections in a flight in the environment in a suitable and smooth way, and the performance of the servos is directly proportional to the speed of attitude change.

Analyzing the results obtained, it was noticed that the MMA8452Q really fulfilled the objective of reading the variations of the axes and that the ARDUINO performed, according to the established code, the translation of the readings in PWM, applying the respective angles in the axes of the servomotors.

As already mentioned, it was not possible to operate the rudder, since the vertical axis variation in the sensor is not angular, instead varies only in intensity due to the condition that the MMA8452Q is an accelerometer and depends on the gravity force, which is oriented in the same direction of the vertical axis. Thus, the test verified the need to use another sensor capable of acting on this axis.

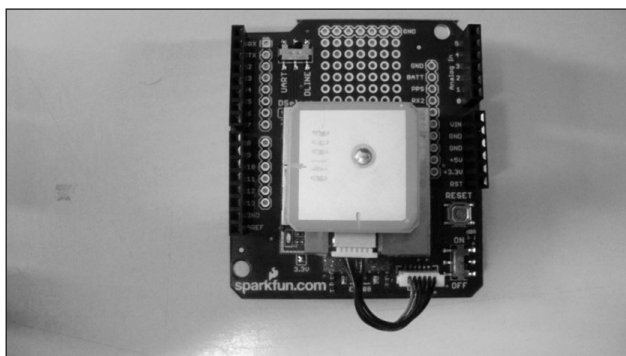
As a solution, the GPS module EM-406A was chosen as the yaw control, since it is possible to maintain an ideal bow for a predetermined point by the GPS data.

### 1.2.2 EM-406A GPS Module

This module, which is manufactured by USGLOBALSAT based on the SIRF STARIII chipset and distributed by Sparkfun, contains a led to indicate the power status and another one to indicate the operation of reception of satellite signals, which must remain flashing to indicate the reception of these signals.

For operation with the ARDUINO UNO board, a Shield board is used as shown in Figure 6.

**Figure 6** – Shield GPS EM-406A.



**Source:** The author.

### 1.2.3 Sistema GPS

The Global Positioning System (GPS) or Navigation Satellite with Time And Ranging (NAVTEAR-GPS) is a radionavigation system developed by the Department of Defense (DoD),

which aims to be the main navigation system of the American army. Due to the high accuracy provided by the system and the high degree of development of the technology involved in GPS receivers, a large user community emerged in the most varied civil applications (PEREIRA, 2007).

After a plane crash in Korea in 1983 with 269 victims due to an interception and shooting down of a commercial aircraft flying in a prohibited airspace by a Soviet fighter, probably due to a navigation error, President Ronald Reagan announced that GPS would be available for civilian use. In 1996, President Bill Clinton officially declared dual-use GPS, both for civilian and military purposes, and created the GPS International Executive Management Agency.

GPS is made up of a constellation of 24 (twenty-four) satellites on the Earth's orbit. The distribution of these satellites is divided into 6 (six) orbital plans with 4 (four) satellites in each one, and this architecture allows the simultaneous reception of 7 (seven) satellite signals in any position on the planet.

In order to determine the position, the GPS receiver needs to receive electromagnetic wave signals from at least three (3) satellites in order to be able to perform a trilateration of the reception time of these signals, thus obtaining its position in space. The GPS position corresponds to the intersection of the signals of the satellites, being possible to determine it in three-dimensional form, i.e., by the latitude, longitude and altitude.

For the operation of the GPS receiver there are two protocols that encode the position information carried by the electromagnetic waves in specific characters, thus forming a language pattern. These protocols are National Marine Electronics Association's NMEA 0183 and GARMIN, which is a modification of the first.

The communication protocol is basically a language pattern among electronic components, which enables the interpretation of physical elements such as waves, pressure or temperature in electric pulses characterized by bits, due to binary language.

The NMEA 0183 communication protocol is used by most GPS devices. It is based on ASCII and transmitted serially. According to this protocol, the communication is made by messages that follow norms established by the NMEA. According to Karasinski (2009, p. 37):

ASCII is an acronym for “American Standard Code for Information Interchange”. This code was proposed by Robert W. Bemer, aiming to standardize the codes for alphanumeric characters (letters, signs, numbers and accents). So, it would be possible for computers from different manufacturers to understand the codes. ASCII is a numeric code that represents the characters using a decimal scale from 0 to 127. The computer then convert these decimal numbers into binaries and it processes as a command. Therefore, each letter you type will match one of these codes.

Currently, this system is indispensable for aerial, land or submarine navigation due to its reliability and accuracy.

**2 COLLECTION OF RESULTS WITH MICRO-SD CARD**

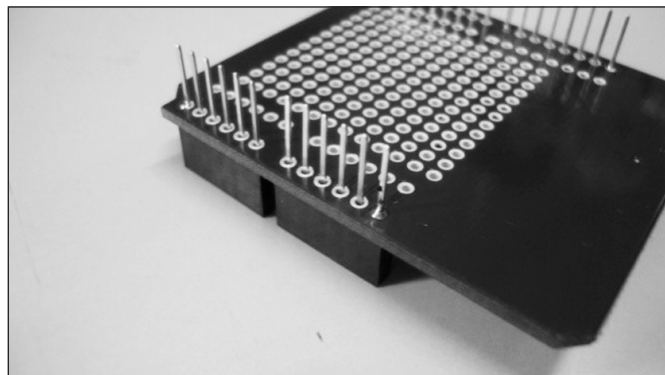
The test script included only the MMA8452Q sensor responsible for flight stability. For the EM-406A and BMP085 sensors, the test should be applied under real flight conditions. For this, the ARDUINO microcontroller was embedded with the EM-406A GPS Module in a T-27 Tucano aircraft of the Air Force Academy.

As there is no display coupled to the above-mentioned module, it was necessary to use an alternative form of GPS data recording, using a Micro-SD Shield printed board (Figure 7), thus allowing ARDUINO to record the data.

The Micro-SD Shield has the same pinning as the ARDUINO, as does the EM-406A Shield. Shields are used to couple several sensors in ARDUINO without isolating the ARDUINO pins that will be used by other sensors.

According to Pereira (2007), a route mapped in Google Earth is created through collected GPS data. Considering this publication as a reference, the GPS data was recorded using a Micro-SD memory card. To use this card, the <SD.h> library is required.

**Figure 7 – Micro-SD Shield.**

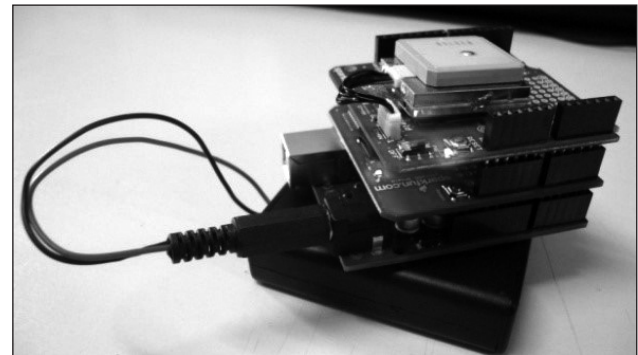


**Source:** The author.

According to Aloï (2012), the communication protocol of this card is the ISP of ISP interface, which does not support cards with more than 4 gigabytes. To initialize the card, you must send a byte to the card and verify that it is recorded, otherwise the card will not work.

For this work a Sparkfun Micro-SD Shield was acquired, as shown in Figure 7. After assembly, ARDUINO is equipped with two Shields, Micro-SD and EM-406, as shown in Figure 8.

**Figure 8 – ARDUINO with Micro-SD and EM-406A.**



**Source:** The author.

The test of this kit was carried out on a flight on the T-27 Tucano aircraft on an instrument flight mission of the advanced Course of Aviators Officers in the 1st Air Instruction Squadron(1st EIA). The objective of the mission is to train the aviator cadets of the 4th AFA Squad to perform instrument approach procedures. The objective of this test was to verify the GPS data recording in the Micro-SD card through the ARDUINO, according to classification described by Gamboa (2008).

The code developed specifically for this work has the function of giving instructions to ARDUINO on how to perform the GPS signal readings and write them to a CSV file in Excel. In Table 1, it is possible to verify the data collected in flight, as well as indicators that generated the route performed.



**Table 1** – Flight data with the AFA T-27 Tucano aircraft.

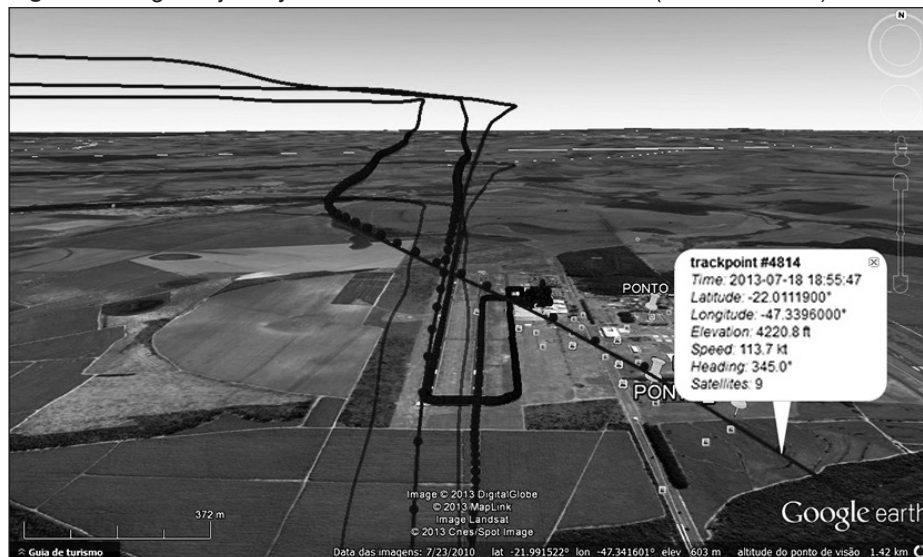
hour	minute	second	latitude	longitude	speed	day	month	year	altitude	course	satellites
17	36	28	-21.98113	-47.33849	-1.00	0	0	2000	618.60	1000.00	4
17	36	29	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	619.60	1000.00	4
17	36	30	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.10	1000.00	4
17	36	31	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	621.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.00	12.67	4
17	36	33	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.40	12.67	4
17	36	34	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.60	12.67	4
17	36	35	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.80	12.67	4
17	36	36	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.10	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.20	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.20	15.17	4
17	36	38	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.30	15.17	4
17	36	39	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.50	15.17	4
17	36	40	-21.98112	-47.33850	0.20	18	7	2013	623.90	15.17	4
17	36	42	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	1000000.00	192.49	255
17	36	43	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.00	192.49	4
17	36	44	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.30	192.49	4
17	36	45	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.50	192.49	4
17	36	46	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.70	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.80	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	623.80	347.72	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	624.00	347.72	4

**Source:** The author.

These data are handled at the specific site to obtain a KMZ extension file. When this KMZ file is queried (in) on Google Earth, it is possible to

visualize the trajectory with data of geographic position, speed, bow, altitude, date and time, as can be seen in Figure 9.

**Figure 9** – Flight trajectory of the AFA's T-27 Tucano aircraft (horizontal view).



**Source:** The author.

In Figure 10 it is also possible to follow the work developed with the system. These images show the importance of the use of a Micro-SD in the verification of the trajectory carried out by the aircraft model to analyze the maintenance of the descent ramp of the gliding flight from a 3D perspective, as well as it is possible to check, from point to point, data of speed, bow, altitude, geographic position, etc.

It is also possible to create a database with the missions performed and, thus, it is possible to improve the ARDUINO programming processes, increasing the accuracy of the flight with respect to the ramp and the landing on the target.

With these procedures and materials, it is possible to plan missions with different aspects of execution and practice, being one of them this mission proposed for mapping and reaching predefined target. Finally, it is possible to improve and apply the mission with explosive material, taking into account, for example, the application of guided bomb (CASTRO, 2013).

### 3 CONCLUSION

The UAV Project is a considerable initiative of the CGE in motivating the cadets to scientific development, as well as developing the possibility of putting into practice the knowledge acquired. The building of a UAV out of a simple electric model in its complete design requires research and development. This work was developed only in the landing system of a UAV applied

in the simulation of an artifact launched from an aircraft, so that it can touch the ground at the predetermined point, as described.

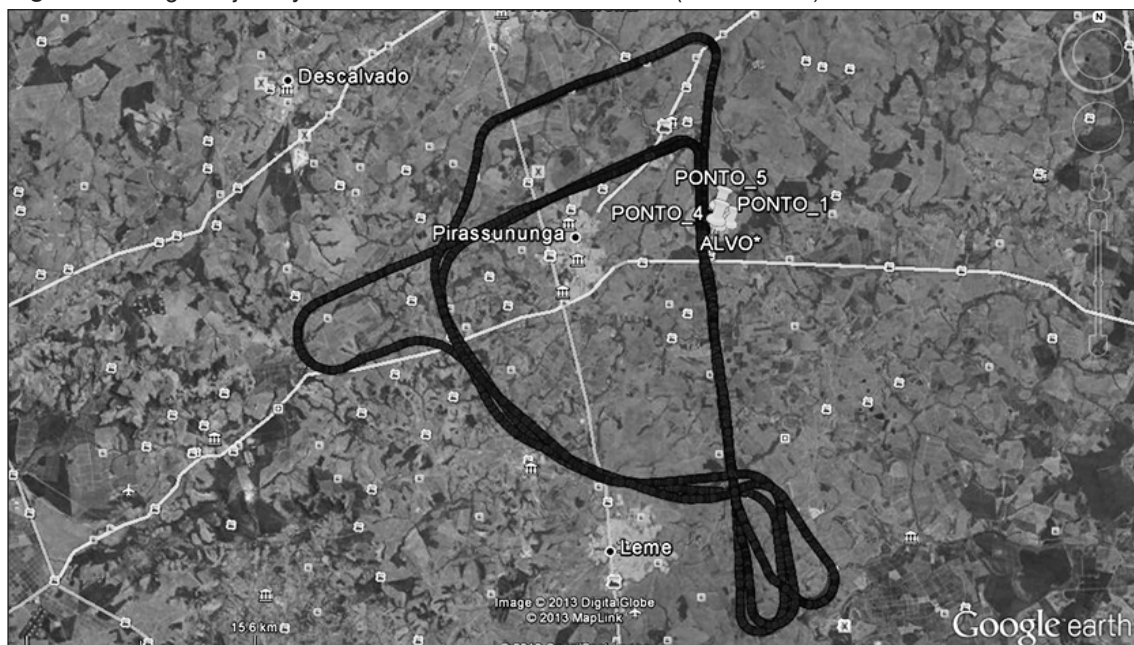
To this end, the use of microcontrollers in the process of automation is the possibility that the CGE has to apply the theoretical knowledge of the cadets. Among the various microcontrollers currently available on the market, we chose ARDUINO technology because it is a microcontroller that is open to development. When embedding this microcontroller in an electric aircraft model, it was possible to develop a UAV, even if initially for the experimental work.

To carry out the work, it was necessary to use sensors with the ability to perceive environmental variations affecting the flight, such as variations in altitude, distance, speed and bow, considered as a short navigation by the GPS system.

In this paper the sensors play a decisive role in the maintenance of the gliding flight, as well as in the navigation of the BIXLER2 aircraft model. The communication between microcontroller and sensors was developed in the C/C++ language. Thus, the results are the data collected on a Micro SD card, which allow the improvement of the methodology applied in this project, with a view to better results in future projects of the CGE.

This fieldwork is an important step for the new studies that have been developed at the Air Force Academy regarding the theme and the practical application of a UAV.

**Figure 10** – Flight trajectory of the AFA's T-27 Tucano aircraft (vertical view).



**Source:** The author.

## REFERENCES

- ALBANO, L. H. **Sistema de identificação de células**. 2008. 68f. Monografia (Engenharia da Computação) - Universidade Positivo, Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.leandrohsouza.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2013.
- ALOI, R. **Curso Arduino Advanced - Aula 21 (SD CARD)**. Vídeo aula. 2012. Disponível em: <<http://www.youtube.com/user/graccula>>. Acesso em: 26 maio 2013.
- BRASIL. **Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim\\_2012.pdf](http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2017.
- BANZI, M. **Primeiros passos com Arduino**. [Tradução Rafael Zanolli]. São Paulo: Novatec Editora, 2011.
- BOLTON, W. **Engenharia de controle**. Tradução Valceres Vieira Rocha e Silva. São Paulo: Makron Books, 1993.
- CAROLINE, A. **Como elaborar um roteiro de testes**. Grupo de testadores de Software. 2007. Disponível em: <<http://gtsw.blogspot.com.br>>. Acesso em: 31 ago. 2013.
- CASTRO, F. **Bombas Guiadas SMKB – Acauã**. Disponível em: <<http://sistemasdearmas.com.br/pgm/smkb.html>>. Acesso em: 27 ago. 2013.
- CIANFLONE, R. **Vants a nova tendência em aeronaves**. Disponível em: <<http://www.aereo.jor.br/2011/06/15/vants-a-nova-tendencia-em-aeronaves/>>. Acesso em: 27 ago. 2011.
- GAMBOA, P. V. **Subida e descida**. Mecânica de voo I – 7631. 2008. Disponível em: <<http://webx.ubi.pt>>. Acesso em: 31 ago. 2013.
- KARASINSKI, E. **Novas tecnologias: jogos interativos**. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/webcam/2394-novas-tecnologias-jogos-interativos.html>>. Acesso em: 12 mar. 2013.
- PEREIRA, L. A. **Atualização da rede GPS de São Carlos e a avaliação do método PPP em comparação com o ajustamento de redes geodésicas**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.
- TOYWING tudo sobre aeromodelo. Disponível em: <<http://www.toywing.com.br/>>. Acesso em: 23 maio 2013.
- VANE, J. C. de. **Applicability of unmanned aerial systems to homeland defense missions**. 2006. 101 p. Master's Thesis - Naval Postgraduate School – NPS, Monterey, CA, 2006, p. 9-10.

# Proyecto VANT: desarrollo de una prueba para elaborar una bomba teleguiada por GPS en el Club de Guerra Electrónica de la Academia de la Fuerza Aérea

*UAV Project: development of a test for the elaboration of a GPS-guided bomb in the Electronic Warfare Club of the Air Force Academy*

*Projeto VANT: o desenvolvimento de uma bomba teleguiada por GPS no clube de guerra eletrônica da Academia da Força Aérea*

Lucas Luiz de Ávila<sup>I</sup>

Bruno Eduardo Teixeira<sup>II</sup>

Simon Skarabone Rodrigues Chiacchio<sup>III</sup>

Adriano Rogério Bruno Tech<sup>IV</sup>

## RESUMEN

El proyecto VANT, del Club de Guerra Electrónica (CGE) de la Academia de la Fuerza Aérea (AFA), fue inicialmente concebido para motivar, los cadetes integrantes del club, en cuanto al desarrollo de sistemas operativos de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). De esta forma este artículo sugiere la aplicación de este PROYECTO en un aeromodelo eléctrico controlado por un microcontrolador. En este contexto el aeromodelo utilizado fue el BIXLER2 de *Hooby King* y el, microcontrolador una placa ARDUINO UNO. Con estos materiales, se propuso utilizar el aeromodelo en el lanzamiento simulado de un artefacto embarcado en una aeronave, guiado por el Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System* - GPS) para aterrizaje en un punto predeterminado (objetivo) Simulando una bomba inteligente, se pudo completar positivamente el desafío del proyecto por los resultados obtenidos por las diferentes misiones y verificado por la ruta asignada y desarrollada en una aeronave Tucano T-27, de AFA.

**Palabras clave:** VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

## ABSTRACT

*The UAV Project of the Air Force Academy (AFA) Electronic Warfare Club (CGE) was originally designed to motivate cadets enrolled in the club to develop operating systems for an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Therefore, this article suggests the application of this PROJECT in an electric model aircraft controlled by a microcontroller. In this context the model aircraft used was the Hooby King BIXLER2 and the micro-controller, an ARDUINO UNO board. With these materials, it was proposed to use the model aircraft in the simulated launch of an aircraft-based artifact, guided by the Global Positioning System (GPS) for landing at a predetermined point (target). Simulating a smart bomb, the challenge of the project could be positively concluded through the results achieved by the different missions and verified by the course developed and mapped in an AFA's T-27 Tucano aircraft.*

**Keywords:** UAV. ARDUINO UNO. GPS. Smart bomb.

I. Academia de la Fuerza Aérea (AFA) – Pirassununga/SP – Brasil. Cadete Aviador del 4º Escuadrón. *Email:* lucasavila29@gmail.com

II. Academia de la Fuerza Aérea (AFA) – Pirassununga/SP – Brasil. 1er Teniente de Magisterio (Física). Candidato Doctoral en Ingeniería Ambiental por la Universidad de São Paulo (USP) – São Carlos/SP. *Email:* br\_edu@hotmail.com

III. Instituto de Logística de la Aeronáutica (ILA) – Guarulhos/SP – Brasil. 1er Teniente Administrador. Post-Doctor por la Facultad de Economía, Administración y Contabilidad (FEA/USP) – Ribeirão Preto/SP. *Email:* skarabone@usp.br

IV. Facultad de Zootecnia e Ingeniería de Alimentos (FZEA/USP) – Pirassununga/SP – Brasil. Profesor Titular del Programa de Postgrado Strictu Sensu en Gestión e Innovación en la Industria Animal FZEA/USP. *Email:* adriano.tech@usp.br

Recibido: 02/08/2016

Aceptado: 16/11/2017

Las siglas y abreviaturas contenidas en el artículo corresponden a las del texto original en lengua portuguesa.

## RESUMO

*O Projeto VANT do Clube de Guerra Eletrônica (CGE) da Academia da Força Aérea (AFA) foi, inicialmente, concebido para motivar nos cadetes integrantes do clube o desenvolvimento de sistemas operacionais de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Desta forma este artigo sugere a aplicação deste PROJETO em um aeromodelo elétrico controlado por um micro-controlador. Neste contexto o aeromodelo utilizado foi o BIXLER2 da Hooby King e o micro-controlador, uma placa ARDUINO UNO. Com estes materiais, esta pesquisa propôs utilizar este aeromodelo no lançamento simulado de um artefato embarcado em uma aeronave, guiado pelo Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System - GPS) para aterragem em um ponto pré-determinado (alvo). Caracterizando uma bomba inteligente, pôde-se concluir positivamente o desafio do projeto por meio dos resultados conseguidos pelas diferentes missões e que pôde ser verificado pelo percurso desenvolvido e mapeado em outra aeronave da AFA.*

**Palabras-clave:** VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

## 1 INTRODUCCIÓN

El Club de Guerra Electrónica (CGE) de la Academia de la Fuerza Aérea (AFA) surgió en el año 2010 con el objetivo de estudiar los conceptos de Guerra Electrónica y sus aplicaciones en la Fuerza Aérea Brasileña (FAB), así como introducir en la formación del oficial aviador, intendente y de infantería conocimientos en cuanto a las innovaciones tecnológicas en operaciones en la FAB. Entre los diversos asuntos discutidos, hay bastante interés de los integrantes del club en el desarrollo de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT).

Con esta motivación, fue idealizado un proyecto en el CGE denominado Proyecto VANT, con el objetivo de posibilitar a los cadetes el desarrollo y aplicación de un VANT entre una de las actividades del Cuerpo de Cadetes de la Aeronáutica (CCAer).

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) define VANT o UAV como:

El vehículo aéreo motorizado que no transporta a un operador humano, utiliza fuerzas aerodinámicas para la ayuda aérea, puede volar de manera autónoma o ser pilotado por control remoto, puede ser desechable o recuperable y puede transportar una carga útil letal o no letal. (VANE, 2006, p. 9).

De acuerdo con Cianflone (2011), el VANT es un tipo de aeronave sin piloto que puede volar de forma

autónoma y remotamente controlada, en acciones de monitoreo, reconocimiento y vigilancia, entre otras. Su principal ventaja en relación a los demás vehículos es la capacidad de realizar acciones tácticas de inteligencia sin poner vidas humanas en riesgo.

Estas dos definiciones expresan la versatilidad de las misiones realizadas por una aeronave autónoma, siendo que la gran relevancia de este tipo de aeronave es la posibilidad de preservar el recurso humano, principalmente cuando se trata de una misión de guerra.

La aplicabilidad del VANT abarca la esfera civil y la militar, principalmente, en monitoreo, reconocimiento y vigilancia (ALBANO, 2008).

En el ámbito militar, la campaña de Afganistán llamó la atención porque allí los VANT realmente empezaron a atacar blancos, además de buscar informaciones. Ya en el ámbito civil, en la triple frontera (Brasil, Argentina y Paraguay), en el sur del país, la Policía Federal opera VANT israelíes, adquiridos para el combate al tráfico y al contrabando (CIANFLONE, 2011). Por lo tanto, es de suma importancia que el cadete de la aeronáutica conozca sistemas y tecnologías que posibiliten equilibrar el potencial de las Fuerzas Armadas de Brasil frente a las demás, principalmente, considerando que la FAB es cimentada en la tecnología, tanto embarcada y terrestre.

Con la utilización de ese tipo de aeronave en la FAB será posible preservar los recursos humanos, expandir diversas áreas del conocimiento y adquirir independencia tecnológica de otros países, así como estar adaptado a las nuevas demandas de mercado.

El Proyecto VANT, del CGE, no fue concebido de forma práctica, pero sólo teórica, y desde 2010 ningún trabajo o investigación fue desarrollado con la finalidad de tornarse posible y viable este proyecto. Algunos investigadores del área iniciaron en el año 2011 trabajos y proyectos que tenían el objetivo de desarrollar esa vertiente en AFA.

Para el desarrollo de este tipo de aeronave es necesario aplicar conceptos de la electrónica digital y computación, considerando que la aeronave será un robot programado y realizará una determinada misión o tarea. Por eso, además de volar, tendrá que desempeñar una determinada función operacional (ALBANO, 2008).

El propósito de este estudio es discutir soluciones para el desarrollo del proyecto VANT, del CGE, complementando los conocimientos adquiridos en el Departamento de Educación (DE) de la AFA, en la electrónica digital y computación a través de la

tecnología abierta (*Open Source*) ARDUINO y en varios sensores capaces de mantener un aeromodelo eléctrico en vuelo autónomo planeado de forma estable, y controlado por un sistema de navegación embarcado. Con eso se propone la aplicación de una prueba para el desarrollo futuro de una bomba inteligente guiada por el Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System* - GPS).

Se buscó también analizar y aplicar medios viables para el desarrollo de la estabilidad de vuelo planificado de un aeromodelo eléctrico para aterrizaje autónomo en un punto predeterminado (objetivo o blanco), simulando el empleo de un artefacto lanzado de una aeronave y guiado por el GPS.

## 1.2 Materiales y método

El modelo de un aeroplano es una versión reducida de un aeroplano en su tamaño normal. Los modelos y los objetos en su tamaño normal tienen los mismos tipos de relación entre las longitudes de sus diferentes partes. [...] Un modelo es sólo un medio para transferir alguna relación de su forma real a otra forma. (BOLTON, 1993, p. 4).

Conforme Bolton (1993), la diferencia entre un aeromodelo y un avión de tamaño real está sólo en la escala. Por lo que es válido considerar un aeromodelo similar a un avión que pueda ser pilotado adecuadamente, en un ambiente experimental.

En los fines de semana, hay operaciones de planeadores en la pista del sector este de AFA, pista 02R (Cabecera 02 derecha)/pista 20L (Cabecera 20 izquierda), siendo esta operación coordinada por los propios cadetes pertenecientes al Club de Vuelo a Vela (CVV) y supervisada por la División de Instrucción de vuelo (DIV).

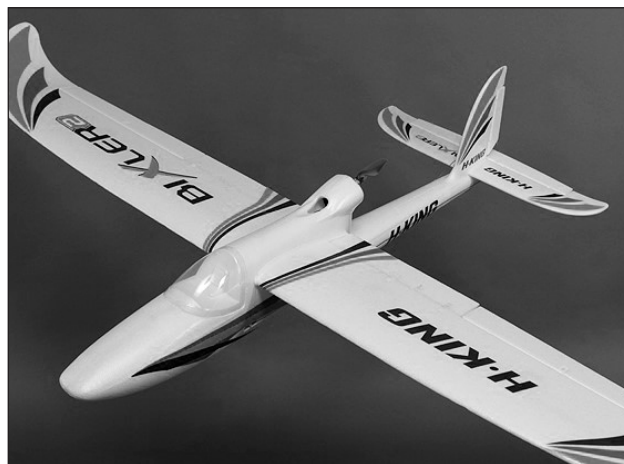
El modelo de planeador puede ser desprovisto de motor y su razón de planificación es que representa su eficiencia aerodinámica. Esta razón es, en promedio, mucho más elevada que la de un avión convencional, siendo que una de las ventajas de un planeador está en la suavidad del pilotaje y en la estabilidad del vuelo.

Así como hay aeromodelos de aviones convencionales, también hay modelos de planeadores. Como un ejemplo se pueden mencionar el aeromodelo BIXLER2 de *Hooby King* (Figura 1). Este modelo tiene las mismas características aerodinámicas de un planeador. Sus alas son largas y su estructura es de isopor para reducir la masa, pero la diferencia de los planeadores pilotados por los cadetes en el CVV, este aeromodelo está equipado con un motor para posibilitar su ascenso.

<sup>1</sup> Parte delantera de la aeronave.

<sup>2</sup> Parte trasera de la aeronave.

Figura 1 – BIXLER2 de HoobyKing.



Fuente: Toywing... (2013).

El BIXLER2 está equipado con cuatro servomotores para controlar sus superficies de control, uno para cada alerón, uno para el ascensor y uno para el timón y también está equipado con *flaps*, que son operados por servomotores independientes. Según esta encuesta, el funcionamiento del motor y los *flaps* será siempre bajo orden del operador vía del control de radio.

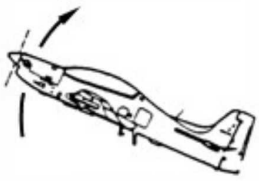
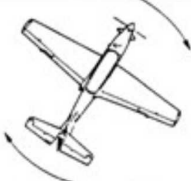
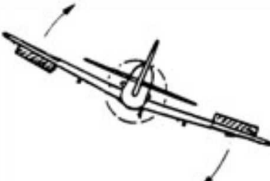
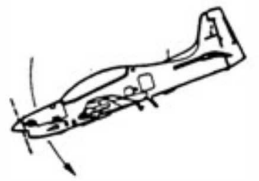
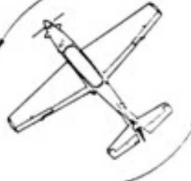

Los ejes de control de un avión o de un aeromodelo son: longitudinal, transversal y vertical. Todos controlados por las respectivas superficies de control primarias ailerons, profundor y timón. Cada avión es controlado por esas superficies y así se tiene movimiento en todas las direcciones posibles.

Para entender mejor los ejes de una aeronave, hay la especificación del movimiento de cada eje, conforme Figura 2.

En el eje transversal, el avión aumenta o disminuye su morro<sup>1</sup> por el movimiento del profundor. Cuando se deflecta hacia arriba crea una fuerza aerodinámica hacia abajo, desplazando el morro hacia arriba, cuando se deflecta hacia abajo, ocurre lo contrario. Este movimiento se llama cabeceo o *pitch* y determina la actitud del avión con respecto al horizonte. Este eje cambia el ángulo de ataque de las alas, componente vital de la sustentación.

En el eje vertical, el morro del avión gira en sentido horizontal, de derecha a izquierda y viceversa. Este movimiento ocurre por la actuación del timón. Cuando se deflecta hacia la derecha crea una fuerza aerodinámica en la cola<sup>2</sup> hacia la izquierda, moviendo el morro de la aeronave para la derecha y cuando deflectado hacia la izquierda,

Figura 2 – Ejes de movimientos de una aeronave.

Profundor (Elevator)	Timón (Rudder)	Aleron
 <p>Cabrar el avión</p>	 <p>Girar a la derecha</p>	 <p>Rollo a la derecha</p>
<p>Pitch</p>	<p>Yaw</p>	<p>Roll</p>
 <p>Picar</p>	 <p>Girar a la izquierda</p>	 <p>Rollo a la izquierda</p>
<p>Eje transversal</p>	<p>Eje vertical</p>	<p>Eje longitudinal</p>

Fuente: Toywing... (2013).

ocurre lo contrario. Este movimiento se llama de guiñada o *yaw*. Por medio del timón se corrige la coordinación de la aeronave debido al viento relativo, así como, es la superficie responsable del mantenimiento de la proa de la aeronave.

En el eje longitudinal, el avión gira en torno a la línea imaginaria que interconecta el morro a la cola por el movimiento alternado de los alerones. El ala que desvía el alerón hacia arriba disminuye su ala de soporte que desvía los aumentos de alerones hacia abajo, por lo que es el movimiento de rolo o *roll*.

Es importante resaltar que los alerones, profundor y timón son superficies de control primarias, pues actúan directamente en la resultante de las fuerzas aerodinámicas del avión, modificando su trayectoria, actitud y coordinación.

En el aeromodelo BIXLER2 la actuación de las superficies de control se procesa como explicado anteriormente, sin embargo, para el cumplimiento del objetivo, ese modelo deberá desarrollar un vuelo planeado.

El vuelo planificado se caracteriza cuando el avión es impulsado por una fuerza resultante entre la sustentación, el peso y la fricción, siendo su soporte menor que el peso (CAROLINE, 2007). Esta definición orienta el vuelo analizado en este trabajo.

De acuerdo con las reglas de vuelo por instrumentos, la razón de descenso de una aeronave deberá ser de 500

pies/min a 1000 pies/min o 2,54 m/s a 5,08 m/s, las cuales serán utilizadas en este trabajo. Sin embargo la razón ideal de descenso debe ser verificada considerando los aspectos aerodinámicos del aeromodelo BIXLER2 con los equipos del *kit* controlador embarcado, lo que implica una mayor masa del aeromodelo.

### 1.2.1 Pasos del plan de las pruebas

a) Paso I: comprobar el código y cargarlo en ARDUINO.

El código cargado en ARDUINO es el **Piloto\_1**, que tiene en su función *loop* una secuencia de condiciones que transforman las variaciones de rolo y cabeceo en señales digitales para controlar todos los cuatro servomotores (BANZI, 2011). En este código es necesaria la inclusión de la biblioteca **<Servo.h>**, responsable por la funcionalidad de los servomotores.

b) Paso II: analizar la actuación del sensor MMA8542Q.

Antes de montar el aeromodelo es necesario colocar todos los servomotores en la posición neutra, o sea, el eje a 90 grados (Figura 3). En ese intento, se elaboró un código para determinar el ángulo de 90 grados e instalar el brazo mecánico del servo. El código utilizado fue el **CALIBRAR\_90**.

Con los servos en la posición neutra, se realizó una prueba con los cuatro servomotores para verificar la amplitud máxima que sería usada en el aeromodelo. Como resultado, se verificó que la variación adecuada para el uso fue de  $\pm 55$  grados para más o para menos, es decir, 55 grados hacia arriba o hacia abajo.

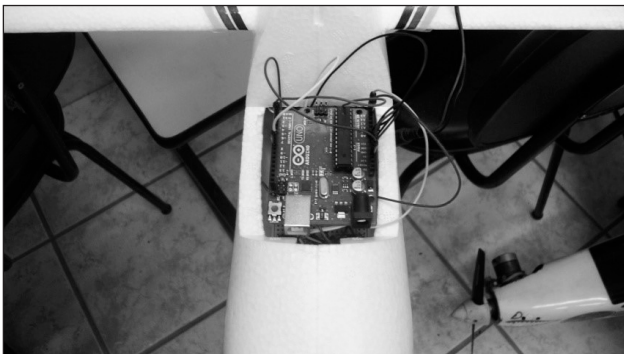
**Figura 3** – Calibración<sup>3</sup>.

Fuente: El autor.

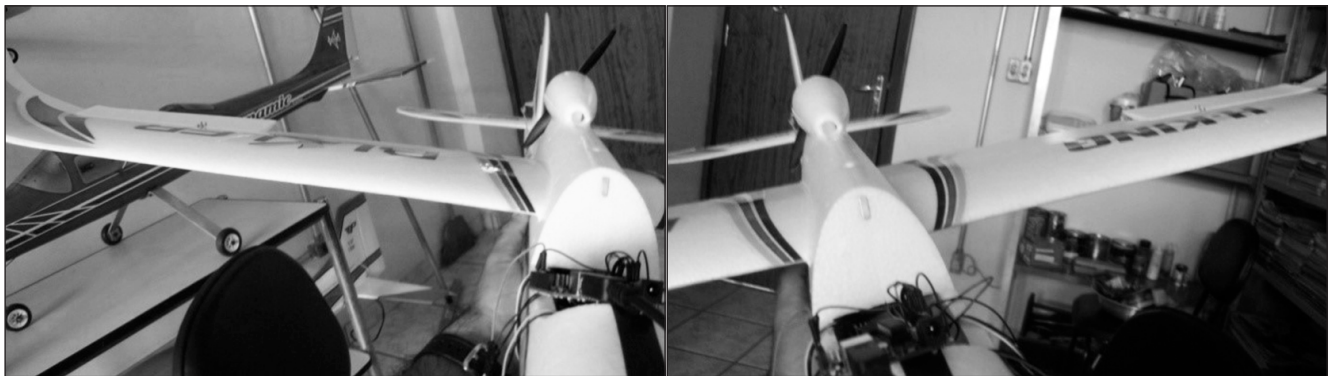
Al montar los servomotores en las superficies de control, se verificó que la actuación de los motores fue suave, coordinada y de acuerdo con la corrección necesaria para mantener un vuelo con las alas niveladas. Con ello el montaje del aeromodelo fue finalizado con éxito.

c) Paso III: instalar el ARDUINO y el sensor MMA8452Q en el aeromodelo.

Durante el montaje del aeromodelo *Bixler de Hobby King* fue posible adaptar la *protoboard* en el interior del aeromodelo

**Figura 4** – Instalación del ARDUINO/MMA8452Q en BIXLER.

Fuente: El autor.

**Figura 5** – Operación de los alerones.

Fuente: El autor.

en un compartimiento que se utiliza para poner la batería (Figura 4). Es importante resaltar que se tomó en cuenta el mantenimiento del Centro de Gravedad (CG). De esta forma, es posible preservar el equipo embarcado, en caso de ocurrir una caída inesperada del aeromodelo.

d) Paso IV: verificación, en suelo, de la tendencia de corrección de los servomotores en las superficies de control.

Después de montar el aeromodelo e instalar el conjunto controlador en el interior del BIXLER, se verificó que las superficies de control, alerones (Figura 5) y profundor buscaban la estabilidad de vuelo por medio de las alas y profundor, sin embargo el timón no actuó como se esperaba porque el eje Z del *chip* MMA8452Q, responsable de la lectura de la variación en la proximidad del eje vertical es el eje de referencia del *chip*. Con respecto a la variación de la fuerza de la gravedad y a la actuación en el timón de dirección, esto sólo se hace cuando se aplica un impulso vertical al aeromodelo, siendo así impracticable durante un vuelo planeado.

El resultado alcanzó las expectativas satisfactoriamente, ya que el timón puede ser desconsiderado, por lo que para la estabilidad de vuelo los alerones mantienen la aeronave con las alas niveladas y el profundor actúa en el ángulo de ataque, el cual es indispensable por el mantenimiento de la sustentación.

La fuente externa utilizada es la batería *lithium polymer* (LiPo) del aeromodelo BIXLER y, para convertir los 11,1 V con 1800 mAh a 5,0 V con 500 mAh, se instaló un regulador de tensión del ARDUPILOT en la fuente de alimentación del ARDUINO UNO.

Como fuente de energía del aeromodelo se utilizó una batería del tipo *lithium polymer* (LiPo) de tres células (3S), que presenta 11,1 V de tensión nominal a una corriente de 1800 mAh. Para la alimentación del ARDUINO UNO, fue necesaria la utilización de un regulador de tensión del ARDUPILOT.

<sup>3</sup> Calibración en este contexto se utiliza para determinar la posición neutral de los servomotores, diferente de la configuración de calibración descrita en el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) (Brasil, 2012).



En cuanto a la velocidad de las respuestas de las superficies de control a los cambios de actitud del aeromodelo, se verificó que es posible obtener correcciones en un vuelo en el ambiente de forma adecuada y suave, siendo que la actuación de los servos es directamente proporcional a la velocidad de cambio de actitud.

El análisis de los resultados obtenidos evidencia que el MMA8452Q realmente cumplió el objetivo de leer las variaciones de los ejes y que el ARDUINO ejecutó, conforme el código establecido, la traducción de las lecturas en PWM, aplicándose en los ejes de los servomotores, los respectivos ángulos.

Como ya se mencionó, no fue posible actuar en el timón, pues la variación del eje vertical en el sensor no es angular, sino que varía sólo en intensidad debido a la condición de que el MMA8452Q sea un acelerómetro y dependa de la fuerza de la gravedad, la cual está orientada en el mismo, sentido del eje vertical. Con ello, en la prueba se verificó la necesidad de utilizar otro sensor capaz de actuar en ese eje.

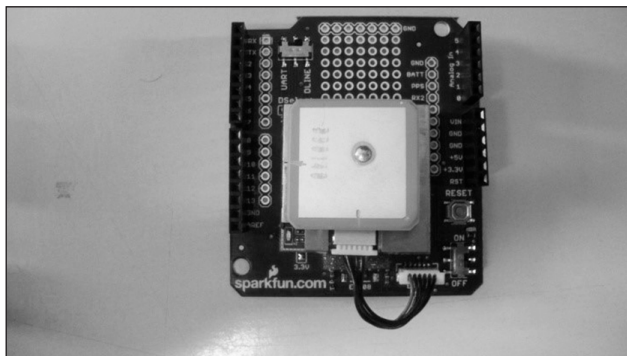
Como solución se optó por la utilización del módulo GPS EM-406A como control de guiñada, ya que es posible mantener una proa ideal para un punto predeterminado por los datos del GPS.

### 1.2.2 Módulo GPS EM-406A

Este módulo, que es fabricado por USGLOBALSAT basado en el *chipset SIRF STARIII* y distribuido por *Sparkfun* contiene un *led* para indicar el estatus de activación y otro para indicar la operación de recepción de señales de satélite, que deben permanecer parpadeando para indicar la recepción de estas señales.

Para el funcionamiento con la placa ARDUINO UNO, que utiliza una placa *Shield* como se muestra en la Figura 6.

Figura 6 – Shield GPS EM-406A.



Fuente: El autor.

### 1.2.3 Sistema GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System - GPS*) o *Navigation Satellite with Time And Ranging (NAVSTAR-GPS)* es un sistema de navegación desarrollado por el *Departamento de Defensa (DoD - Departamento de Defensa de los Estados Unidos)*, que pretende ser el principal sistema de navegación del ejército americano. En razón de la alta exactitud proporcionada por el sistema y el alto grado de desarrollo de la tecnología involucrada en los receptores GPS, una gran comunidad usuaria emergió en las más variadas aplicaciones civiles (PEREIRA, 2007).

Después de un accidente aéreo ocurrido en Corea en 1983, con 269 víctimas, debido a una interceptación y sacrificio de una aeronave comercial que volaba en un espacio aéreo prohibido, por una caza soviética, probablemente debido a un error de navegación, el Presidente Ronald Reagan anunció que el GPS estaría disponible para uso civil. En 1996, el Presidente Bill Clinton declaró oficialmente el GPS para uso dual, civil y militar, y creó la Agencia Internacional de Gestión Ejecutiva del GPS.

El GPS está formado por una constelación de 24 (veinticuatro) satélites en órbita en la Tierra. La distribución de estos satélites se divide en 6 (seis) planos de órbita con 4 (cuatro) satélites en cada una y esta arquitectura permite la recepción simultánea de señales de 7 (siete) satélites en cualquier posición del planeta.

Para la determinación de la posición, el receptor GPS necesita recibir señales de onda electromagnética de 3 (tres) satélites, como mínimo, para tener condiciones de realizar una trilateración del tiempo de recepción de esas señales, obteniendo así su posición en el espacio. La posición GPS corresponde a la intersección de las señales de los satélites, siendo posible determinarla de forma tridimensional, es decir, por la latitud, longitud y altitud.

Para el funcionamiento del receptor GPS existen dos protocolos que codifican la información de posición transportada por las ondas electromagnéticas en caracteres específicos, formando así un patrón de lenguaje. Estos protocolos son NMEA 0183 de la *National Marine Electronics Association* y el GARMIN, que es una modificación del primero.

El protocolo de comunicación es, básicamente, un patrón de lenguaje entre componentes electrónicos, que viabiliza la interpretación de elementos físicos, como ondas, presión o temperatura en pulsos eléctricos caracterizados por bits, debido al lenguaje binario.

El protocolo de comunicación NMEA 0183 es utilizado por la mayoría de los aparatos GPS. Se basa en ASCII y se transmite en serie. Según este protocolo, la comunicación se realiza por mensajes que siguen las normas establecidas por la NMEA. Según Karasinski (2009: 37):

ASCII es una sigla para “American Standard Code for Information Interchange” (Código Estándar Norteamericano para Intercambio de Información). Este código fue propuesto por Robert W. Bemer, con el objetivo de estandarizar los códigos para caracteres alfa-numéricos (letras, signos, números y acentos). Por lo que sería posible que los ordenadores de diferentes fabricantes pudieran entender los códigos. El ASCII es un código numérico que representa los caracteres utilizando una escala decimal de 0 a 127. Estos números decimales son convertidos por el equipo a binarios y procesa el comando. Por lo tanto, cada una de las letras que introduzca coincidirá con uno de estos códigos.

Actualmente, este sistema es indispensable para navegación aérea, terrestre o submarina debido a su confiabilidad y exactitud.

## 2 RECOLECCIÓN DE RESULTADOS CON TARJETA MICRO-SD

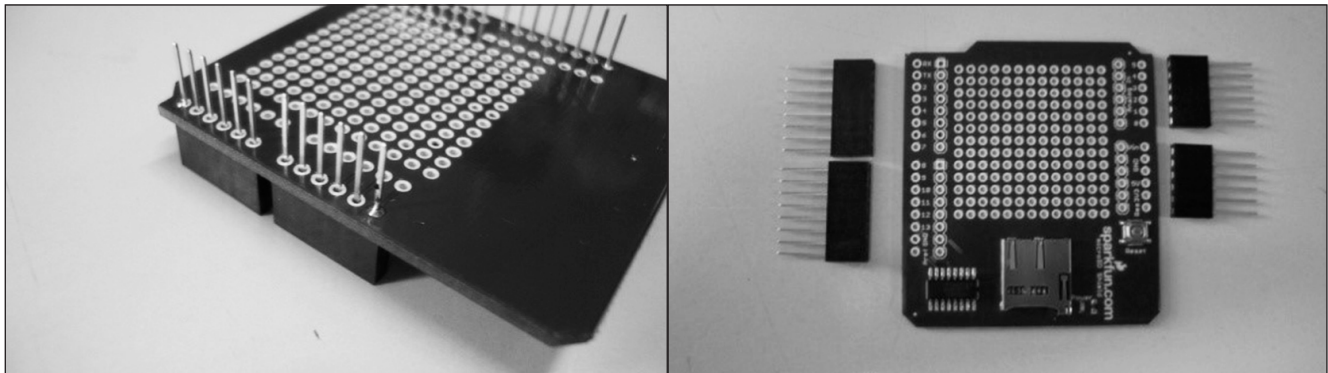
El itinerario de pruebas sólo contempló el sensor del MMA8452Q responsable de la estabilidad de vuelo. Para los sensores EM-406A y BMP085, la prueba debería aplicarse en condiciones de vuelo real. Para ello, se embarcó el microcontrolador ARDUINO con el módulo GPS EM-406A en una aeronave T-27 Tucano, de AFA.

Debido a que no hay ningún *display* acoplado al módulo que se mencionó anteriormente, fue necesario utilizar una forma alternativa de almacenamiento de datos de GPS a través de una placa de circuito impreso *Shield* Micro-SD (Figura 7), permitiendo así que el ARDUINO grabara los datos.

La *Shield* Micro-SD tiene el mismo pinout de ARDUINO, así como la *Shield* EM-406A. Las *Shields* se utilizan para diversos sensores en ARDUINO sin aislar los contactos de ARDUINO que serán utilizados por otros sensores.

De acuerdo con Pereira (2007), se crea una ruta asignada en *Google Earth* a través de los datos GPS recogidos. En vista de esta publicación como referencia, la grabación de los datos GPS se hizo por medio de una tarjeta de memoria Micro-SD. Para la utilización de esta tarjeta, es necesario obtener la biblioteca <SD.h>.

Figura 7 – Shield Micro-SD.

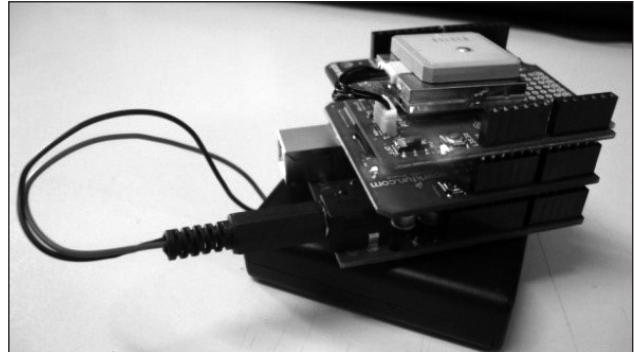


Fuente: El autor.

Según Aloí (2012), el protocolo de comunicación de esa tarjeta es el SPI de interfaz ISP, que no soporta tarjetas con más de 4 gigabytes. Para la inicialización de la tarjeta, es necesario enviar un byte a la tarjeta y verificar que se graba, de lo contrario, la tarjeta no funcionará.

Para este trabajo ha adquirido una *Shield* Micro-SD de *Sparkfun*, como se muestra en la Figura 7. Después del montaje el ARDUINO se equipa con dos *Shields*, Micro-SD, EM-406, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8 – ARDUINO con Micro-SD y EM-406A.



Fuente: El autor.

La prueba de este *kit* se llevó a cabo en un vuelo de la aeronave Tucano T-27 en una misión de vuelo por instrumentos del curso avanzado de Oficiales Aviadores del 1er Escuadrón de Instrucción Aérea (1 EIA). La misión realizada tiene el objetivo de capacitar a los cadetes aviadores del 4º Escuadrón de AFA a realizar procedimientos de aproximación por instrumentos. Esta prueba tuvo el objetivo de verificar la grabación de los datos GPS en tarjeta Micro-SD por medio de ARDUINO, de acuerdo con la clasificación descrita por Gamboa (2008).

El código elaborado específicamente para este trabajo tiene la función de dar instrucciones al ARDUINO de cómo realizar las lecturas de las señales GPS y grabarlas en un archivo con extensión CSV en Excel. En la Tabla 1, es posible verificar los datos recolectados en vuelo, así como indicadores que generaron el recorrido ejecutado.

**Tabla 1** – Datos de vuelo con la aeronave T-27 Tucano, de AFA.

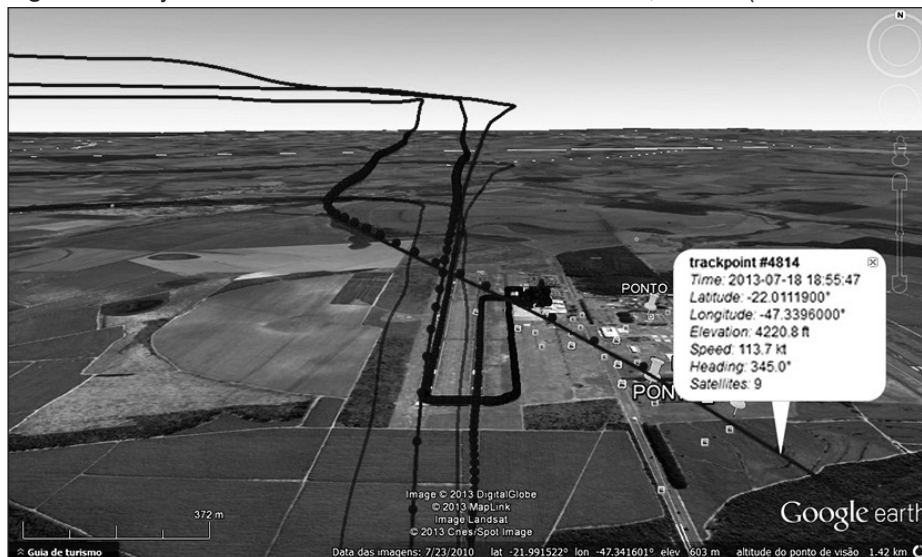
hour	minute	second	latitude	longitude	speed	day	month	year	altitude	course	satellites
17	36	28	-21.98113	-47.33849	-1.00	0	0	2000	618.60	1000.00	4
17	36	29	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	619.60	1000.00	4
17	36	30	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.10	1000.00	4
17	36	31	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	621.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.00	12.67	4
17	36	33	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.40	12.67	4
17	36	34	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.60	12.67	4
17	36	35	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.80	12.67	4
17	36	36	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.10	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.20	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.20	15.17	4
17	36	38	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.30	15.17	4
17	36	39	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.50	15.17	4
17	36	40	-21.98112	-47.33850	0.20	18	7	2013	623.90	15.17	4
17	36	42	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	1000000.00	192.49	255
17	36	43	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.00	192.49	4
17	36	44	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.30	192.49	4
17	36	45	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.50	192.49	4
17	36	46	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.70	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.80	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	623.80	347.72	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	624.00	347.72	4

Fuente: El autor.

Estos datos se manejan en el *sitio* específico para obtener una extensión de archivo KMZ. Consultado este archivo KMZ de *Google Earth* se puede ver

la trayectoria con datos de posición geográfica, velocidad, proa, altitud, fecha y hora, como puede verse en la Figura 9.

**Figura 9** – Trayectoria de vuelo de la aeronave T-27 Tucano, de AFA (visión horizontal).



Fuente: El autor.

En la Figura 10 también es posible acompañar los trabajos desarrollados con el sistema. Por estas imágenes se percibe la importancia de la utilización de un Micro-SD en la verificación de la trayectoria realizada por el aeromodelo para analizar el mantenimiento de la rampa de bajada del vuelo planeado desde una perspectiva 3D, así como es posible verificar, punto a punto, datos de velocidad, proa, altitud, posición geográfica, etc.

También es posible crear una base de datos con las misiones realizadas y, así, es posible perfeccionar los procesos de programación de ARDUINO, aumentando la exactitud del vuelo con respecto a la rampa y al aterrizaje en el objetivo o blanco.

Con estos procedimientos y materiales es posible planificar misiones con diferentes vertientes de ejecución y práctica, siendo una de ellas la que fue propuesta para mapeo y alcanzamiento de objetivo predefinido. Por último, es posible mejorar y aplicar la misión con material explosivo, teniendo en cuenta, por ejemplo, la aplicación de bomba guiada (CASTRO, 2013).

### 3 CONCLUSIÓN

El Proyecto VANT es una considerable iniciativa del CGE en motivar a los cadetes al desarrollo científico, así como desarrollar la posibilidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos. Para hacer un simple aeromodelo eléctrico en un VANT en su concepción completa, son necesarios investigación y desarrollo. Este trabajo fue desarrollado solamente en el sistema

de aterrizaje de un VANT aplicado en la simulación de un artefacto lanzado de una aeronave, para que pueda tocar el suelo en el punto predeterminado, como descrito.

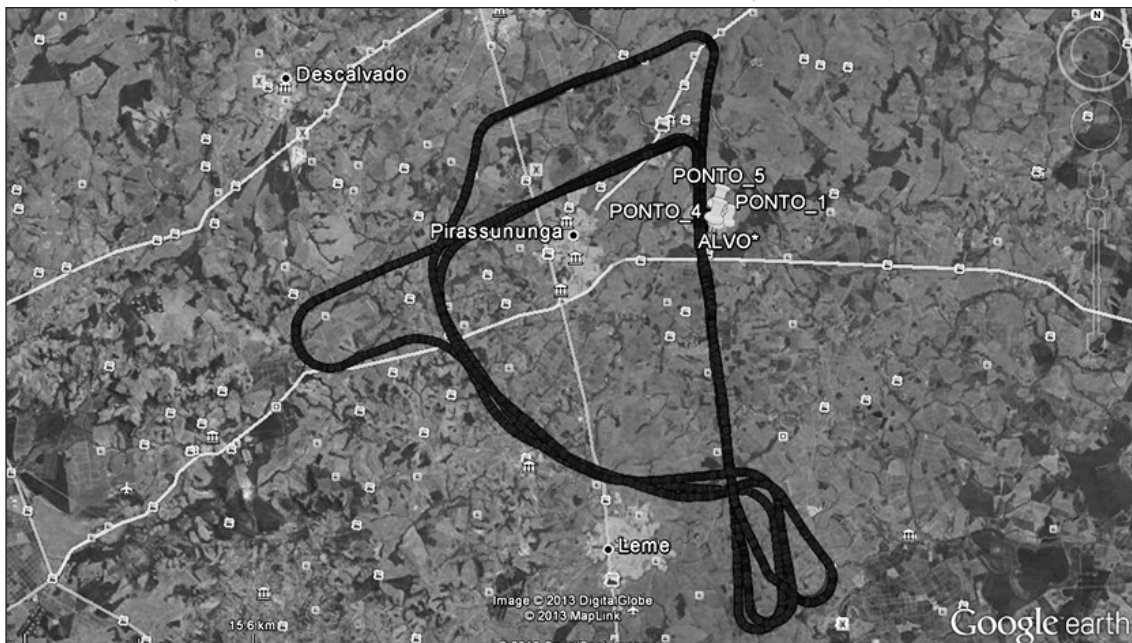
Para ello, la utilización de microcontroladores en proceso de automatización es la posibilidad que el CGE tiene para aplicar los conocimientos teóricos de los cadetes. Entre los varios microcontroladores encontrados en el mercado actualmente, se optó por la utilización de la tecnología ARDUINO, pues se trata de un microcontrolador abierto al desarrollo. Al embarcar ese microcontrolador en un aeromodelo eléctrico fue posible desarrollar un VANT, aunque de forma inicial para el trabajo experimental.

Para la realización del trabajo fue necesaria la utilización de sensores con la capacidad de percibir variaciones ambientales afines al vuelo, como variaciones de altitud, distancia, velocidad y proa, considerada una navegación corta balizada por el sistema GPS.

En este trabajo los sensores tienen el papel decisivo en el mantenimiento del vuelo planeado así como en la navegación del aeromodelo BIXLER2. La comunicación entre microcontroladores y sensores fue desarrollada en el lenguaje C/C++. Así los resultados son los datos recolectados en una tarjeta Micro-SD, los cuales permiten el perfeccionamiento de la metodología aplicada en este proyecto, con vistas a mejores resultados en proyectos futuros del CGE.

Este trabajo de campo es un paso importante para los nuevos trabajos que han sido desarrollados en AFA en lo que se refiere a la temática y la aplicación práctica de VANT.

**Figura 10** – Trayectoria de vuelo de la aeronave T-27 Tucano, de AFA (vista vertical).



Fuente: El autor.

## REFERENCIAS

ALBANO, L. H. **Sistema de identificação de células**. 2008. 68f. Monografia (Engenharia da Computação) - Universidade Positivo, Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.leandrohsouza.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

ALOI, R. **Curso Arduino Advanced - Aula 21 (SD CARD)**. Vídeo aula. 2012. Disponível em: <<http://www.youtube.com/user/graccula>>. Acesso em: 26 maio 2013.

BRASIL. **Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim\\_2012.pdf](http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2017.

BANZI, M. **Primeiros passos com Arduino**. [Tradução Rafael Zanolli]. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

BOLTON, W. **Engenharia de controle**. Tradução Valceres Vieira Rocha e Silva. São Paulo: Makron Books, 1993.

CAROLINE, A. **Como elaborar um roteiro de testes**. Grupo de testadores de Software. 2007. Disponível em: <<http://gtsw.blogspot.com.br>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

CASTRO, F. **Bombas Guiadas SMKB – Acauã**. Disponível em: <<http://sistemasdearmas.com.br/pgm/smkb.html>>. Acesso em: 27 ago. 2013.

CIANFLONE, R. **Vants a nova tendência em aeronaves**. Disponível em: <<http://www.aereo.jor.br/2011/06/15/vants-a-nova-tendencia-em-aeronaves/>>. Acesso em: 27 ago. 2011.

GAMBOA, P. V. **Subida e descida**. Mecânica de voo I – 7631. 2008. Disponível em: <<http://webx.ubi.pt>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

KARASINSKI, E. **Novas tecnologias: jogos interativos**. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/webcam/2394-novas-tecnologias-jogos-interativos.html>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

PEREIRA, L. A. **Atualização da rede GPS de São Carlos e a avaliação do método PPP em comparação com o ajustamento de redes geodésicas**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

TOYWING tudo sobre aeromodelo. Disponível em: <<http://www.toywing.com.br/>>. Acesso em: 23 maio 2013.

VANE, J. C. de. **Applicability of unmanned aerial systems to homeland defense missions**. 2006. 101 p. Master's Thesis - Naval Postgraduate School – NPS, Monterey, CA, 2006, p. 9-10.

# O impacto da adoção do Relatório Final Simplificado (RFS) nos processos investigativos de ocorrências aeronáuticas da aviação militar, conduzidos pelo CENIPA

*The impact of the application of the Simplified Final Report (SFR) on the investigative processes of aeronautical occurrences of military aviation carried out by CENIPA*

*El impacto de la adopción del Informe Final Simplificado (RFS) en los procesos investigativos de sucesos aeronáuticos de la aviación militar, conducidos por el CENIPA*

Thiago Alexandre Lirio<sup>1</sup>

## RESUMO

O Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) tem adotado medidas que aumentem a celeridade dos processos de investigação de ocorrências aeronáuticas. Nesse contexto, a presente pesquisa teve por objetivo verificar a medida em que a adoção do Relatório Final Simplificado (RFS) impactou na quantidade de relatórios finais militares produzidos pelo CENIPA, nos nove primeiros meses do ano de 2015. O foco do estudo residiu em verificar se a capacidade de produção de relatórios finais, pelo CENIPA se alterou após a adoção do RFS para a investigação de ocorrências militares. A análise se embasou na correlação estatística entre dois períodos de igual duração, um anterior e outro posterior à adoção do RFS. Para quantificar o impacto na capacidade de produção de relatórios finais, foi utilizado um indicador que relacionou a quantidade de relatórios iniciados e finalizados em cada período da pesquisa. O indicador demonstrou um indício de aumento de 58,86% na capacidade de produção de relatórios finais, após a adoção do RFS, no âmbito da aviação militar, de janeiro a setembro de 2015. O aumento foi comprovado por meio do exame estatístico Qui-Quadrado que confirmou a significância estatística entre as variáveis e detectou a existência

de correlação entre a quantidade de relatórios finalizados pelo CENIPA e a adoção do RFS, para o nível de significância estabelecido nesta pesquisa.

**Palavras-chave:** Capacidade de produção. Relatório final simplificado. Relatório final. Aviação militar.

## ABSTRACT

*The Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center (CENIPA) has implemented measures to increase the speed of the investigation process of aeronautical occurrences. In this context, the present study aimed to verify the extent to which the application of the Simplified Final Report (RFS) impacted on the amount of final military reports produced by CENIPA in the first nine months of 2015. The focus of the study was to verify if the production capacity of final reports by CENIPA has changed after the application of the RFS for the investigation of military occurrences. The analysis was based on the statistical correlation between two periods of equal duration, one before and one after the application of the RFS. To quantify the impact on production capacity of final reports, an indicator that related the number of reports initiated and finalized in each period of the survey was applied. The indicator showed an increase of 58.86% in the production*

I. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) – Brasília/DF – Brasil. Major Aviador da Força Aérea Brasileira (FAB). E-mail: thiagolirio@gmail.com

Recebido: 15/03/17

Aceito: 12/04/18

*capacity of final reports after the application of the RFS SFR in the field of military aviation from January to September 2015. The increase was confirmed by the Chi-Square statistical test, which confirmed the statistical significance among the variables and detected a correlation between the number of reports completed by CENIPA and the application of the RFS, at the level of significance established in this research.*

**Keywords:** *Production capacity. Simplified final report. Final report. Military aviation.*

## RESUMEN

*El Centro de Investigación y Prevención de Accidentes Aeronáuticos (CENIPA) ha adoptado medidas que aumenten la celeridad de los procesos de investigación de sucesos aeronáuticos. En este contexto, la presente investigación tuvo por objetivo verificar en qué medida la adopción del Informe Final Simplificado (RFS) impactó en la cantidad de informes finales militares producidos por el CENIPA, en los nueve primeros meses del año 2015. El foco del estudio residía en verificar si la capacidad de producción de informes finales, por el CENIPA había sufrido alteraciones después de la adopción del RFS para la investigación de ocurrencias militares. El análisis se basó en la correlación estadística entre dos períodos de igual duración, uno anterior y otro posterior a la adopción del RFS. Para cuantificar el impacto en la capacidad de producción de informes finales, se utilizó un indicador que relacionó la cantidad de informes iniciados y finalizados en cada período de la investigación. El indicador mostró un indicio de aumento del 58,86% en la capacidad de producción de informes finales, tras la adopción del RFS, en el ámbito de la aviación militar, de enero a septiembre de 2015. El aumento se confirmó mediante la prueba estadística de Chi-Cuadrado que confirmó la significación estadística de las variables y se encontró una correlación entre el número de informes terminados por CENIPA y la adopción de RFS para el nivel de significación establecido en este estudio.*

**Palabras clave:** *Capacidad de producción. Informe final simplificado. Informe final. Aviación militar.*

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Após a Segunda Guerra Mundial, houve a necessidade de se regulamentar e normatizar as atividades da aviação civil no mundo, dentre elas as de investigação de acidentes

e incidentes aeronáuticos. Isso aconteceu por meio da Convenção de Aviação Civil Internacional, também conhecida por Convenção de Chicago, da qual o Brasil é signatário. O tratado internacional, assinado em 1944, encontra-se em vigor até os dias atuais. O documento criou a *International Civil Aviation Organization*<sup>1</sup> (ICAO – Organização da Aviação Civil Internacional) e estabeleceu, por meio de 19 Anexos à Convenção, normas e práticas recomendadas para a aviação (SOUZA, 2012).

No Brasil, a Lei nº 7.565/1986 que dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica, em seu Artigo 86, versa que,

Compete ao Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER) planejar, orientar, coordenar, controlar e executar as atividades de investigação e de prevenção de Acidentes Aeronáuticos. (BRASIL, 1986, p. 12).

O SIPAER tem como órgão central o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), que tem por responsabilidade conduzir essas atividades, nos moldes da lei supra citada.

A investigação SIPAER tem por único objetivo evitar o acontecimento de ocorrências aeronáuticas análogas no futuro, por meio da identificação dos fatores contribuintes e da emissão de recomendações de segurança, as quais possibilitem eliminar ou mitigar aqueles fatores. À luz do SIPAER, as ocorrências aeronáuticas militares são classificadas em quatro categorias: acidente aeronáutico, incidente aeronáutico grave, incidente aeronáutico e ocorrência de solo (BRASIL, 2013).

O documento onde se conclui a investigação e se divulga os ensinamentos extraídos de uma ocorrência aeronáutica é o relatório final, e seu conceito está especificado no SIPAER.

Documento formal, destinado a divulgar a conclusão oficial do SIPAER, fundamentado nos elementos de investigação, na análise, na conclusão e nas Recomendações de Segurança relativas a um acidente aeronáutico, incidente aeronáutico grave, incidente aeronáutico ou ocorrência de solo, visando, exclusivamente, à prevenção de novas ocorrências. (BRASIL, 2014, p. 13).

Os 19 Anexos à Convenção de Chicago são divididos por temas específicos de áreas distintas da aviação. Os assuntos relacionados à investigação de acidentes e incidentes aeronáuticos estão dispostos no Anexo 13 da Convenção de Aviação Civil Internacional de 1944. O item 6.5 do referido documento estabelece que, em interesse da prevenção, o Estado, ao conduzir uma investigação

<sup>1</sup> Organização com 191 países-membros que tem por objetivo desenvolver Normas e Práticas Recomendadas para a aviação civil internacional.

de acidente ou incidente, deve publicar um relatório final no menor tempo possível e, se possível, dentro de um período de doze meses (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2010, tradução nossa). Esse trecho destaca a relevância que a Organização atribui ao fator tempo para a prevenção de acidentes. O Brasil também reconhece o fator tempo como fundamental para a prevenção de futuras ocorrências e, por esse motivo, o CENIPA tomou atitudes a fim de tornar o processo de investigação mais veloz e eficiente.

Nesse contexto, em 2013, criou-se o Relatório Final Simplificado (RFS) no âmbito da aviação civil. O RFS é uma versão simplificada do Relatório Final (RF), que possibilita uma investigação mais célere e compatível com a complexidade das ocorrências nas quais é aplicado. Os frutos gerados por essa iniciativa foram comprovados por Amancio (2015), o qual concluiu em sua pesquisa que a adoção do RFS acelerou em mais de 4 vezes o tempo de processamento das investigações da aviação civil brasileira.

É importante ressaltar que o RFS foi uma ferramenta criada para ser aplicada em casos específicos, de menor complexidade, e que o RF não deixou de existir. Ambos os modelos de relatório final (RF e RFS) apresentam em seu conteúdo fatores contribuintes e recomendações de segurança e representam, portanto, a conclusão oficial do SIPAER para uma determinada investigação.

A investigação de acidentes aéreos no Brasil possui característica peculiar por reunir na mesma organização, o CENIPA, as atividades relacionadas às aviações civil e militar. Essa condição possibilita que os conhecimentos adquiridos no exercício das investigações da aviação civil sejam aplicados às atividades de prevenção e investigação da aviação militar e vice-versa.

Com base na experiência vivenciada em 2013, na aviação civil, o CENIPA resolveu adotar, a contar de 1º de janeiro de 2015, o RFS também para a aviação militar. Esse relatório simplificado está sendo aplicado aos incidentes graves, incidentes e ocorrências de solo, e segue raciocínio análogo ao utilizado quando a ferramenta foi inserida no contexto da aviação civil. Para as ocorrências classificadas como acidentes, o RF continua sendo o modelo de relatório aplicado.

As diferenças entre RF e RFS não se restringem ao formato do relatório, pois além da estrutura do documento, o processo de investigação das ocorrências também foi simplificado. Enquanto um acidente investigado por meio de RF percorre, obrigatoriamente, três etapas até sua investigação ser considerada concluída, os incidentes menores, investigados por meio de RFS, percorrem apenas duas etapas. Dessa forma, o processo ganha em velocidade e eficiência.

O tempo despendido para a produção de um relatório final (seja ele RF ou RFS) tem importância destacada no contexto da prevenção de acidentes, pois a publicação desses relatórios é uma das principais maneiras utilizadas pelo CENIPA para atuar diretamente com os atores da aviação militar. Pode-se inferir, portanto, que quanto mais veloz for o processo de investigação, mais rapidamente os ensinamentos nela adquiridos serão divulgados e mais brevemente será concluído o ciclo da investigação (AMANCIO, 2015).

A celeridade das investigações militares está diretamente relacionada com a capacidade de produção da Subdivisão de Investigação (SDINV) do CENIPA. No escopo deste trabalho, o termo **capacidade de produção** significa a quantidade de relatórios finais que o CENIPA é capaz de produzir em um determinado período de tempo.

Até o presente momento, não se realizou nenhuma avaliação em relação ao impacto que a adoção do RFS representou na capacidade que o CENIPA possui de produzir relatórios finais, no âmbito da aviação militar. Ao atuar diretamente na condução de processos de investigação daquele Centro, surgiu o seguinte questionamento e corresponde ao objetivo geral deste trabalho: em que medida a adoção do Relatório Final Simplificado (RFS) impactou na capacidade de produção de relatórios finais da aviação militar pelo CENIPA, de janeiro a setembro de 2015?

Para a coleta e análise dos dados foram considerados dois períodos distintos, conforme descrito abaixo:

a) Antes da Adoção (AA) – de 1º de janeiro a 30 de setembro de 2014; e

b) Depois da Adoção (DA) – de 1º de janeiro a 30 de setembro de 2015.

Com a finalidade de alcançar o objetivo geral, foram elaboradas três questões norteadoras:

QN1: Qual foi a quantidade de RF e RFS militares iniciados nos períodos AA e DA, respectivamente?

QN2: Quantos RF foram finalizados no período AA, no âmbito da aviação militar?

QN3: Quantos RFS foram finalizados no período DA, no âmbito da aviação militar?

A resolução dessas questões visa atingir os objetivos específicos abaixo relacionados:

OE1: Identificar a quantidade de RF e RFS militares iniciados em cada um dos períodos estabelecidos.

OE2: Identificar a quantidade de RF finalizados no período AA, no âmbito da aviação militar.

OE3: Identificar a quantidade de RFS finalizados no período DA, no âmbito da aviação militar.

A importância deste trabalho reside em verificar quantitativamente se houve evolução na celeridade do processo de investigação das ocorrências aeronáuticas militares brasileiras, após a adoção do RFS. Esta evolução



é significativa no contexto atual da Força Aérea Brasileira (FAB) e do Estado brasileiro no que tange à economia de recursos e maximização dos resultados em entidades governamentais. Aliado a isso, a rotatividade de militares do CENIPA é bastante alta e, toda vez que acontece uma substituição de pessoal, o substituto demora um tempo significativo para entender o processo. Um modelo que seja mais célere e eficiente sofre menos com as consequências da rotatividade de investigadores.

O CENIPA tem uma demanda de investigação maior na aviação civil do que na militar, porém precisa ter a mesma intensidade nos dois segmentos para que os níveis de segurança permaneçam equivalentes. Assim, quanto mais parecidos os processos forem, mais uniformes serão os resultados.

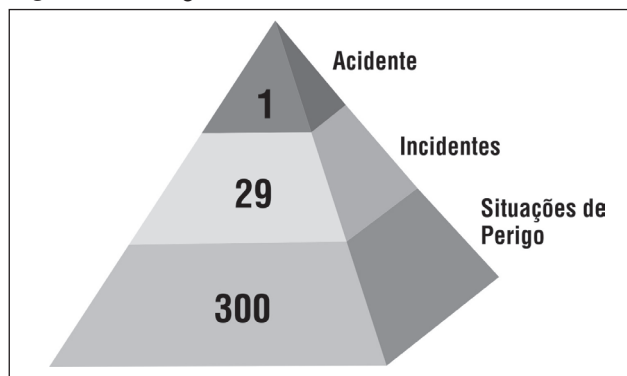
Por fim, os resultados desta pesquisa podem auxiliar o Comando da Aeronáutica (COMAER) e o próprio CENIPA no planejamento da dotação de pessoal e sua distribuição dentro do Centro, além de permitir uma análise dos efeitos do novo relatório adotado (RFS) e ratificar a sua utilização no âmbito da investigação de ocorrências aeronáuticas militares.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Teoria do Triângulo de Heinrich

Na década de cinquenta, Heinrich e Granniss desenvolveram uma teoria que ficou mundialmente conhecida como Triângulo de Heinrich, Figura 1. Nesse estudo, os pesquisadores analisaram milhares de ocorrências e concluíram que, para cada acidente com lesões ou mortes, acontecem centenas de outros eventos semelhantes de menor gravidade, sem feridos ou vítimas fatais. O foco dessa teoria é que eventos de menor complexidade podem e devem ser identificados e controlados antes de evoluírem para eventos mais graves que venham a gerar lesões, fatalidades ou prejuízos materiais (MENDONÇA, 2011).

Figura 1 – Triângulo de Heinrich.



Fonte: Adaptado de Mendonça (2011).

Outras teorias estabelecem razões diferentes entre acidentes, incidentes e situações de perigo, mas também descrevem que essas ocorrências possuem motivos análogos, diferenciando-se apenas pelas consequências que geram. A maior contribuição dessas teorias é a de que os casos menos graves (situações de perigo e incidentes) são considerados precursores dos acidentes e devem ser investigados (MENDONÇA, 2011).

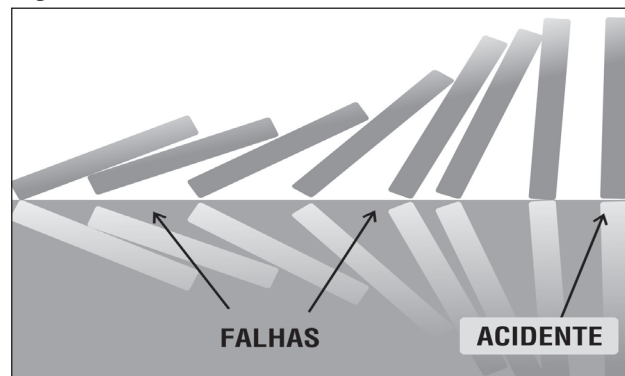
A teoria do Triângulo de Heinrich suporta os estudos deste trabalho pois ressalta que os eventos da base da pirâmide, quando investigados adequada e oportunamente, são mitigados antes que evoluam para uma condição de eventos com consequências mais graves. No caso das ocorrências aeronáuticas militares, a base da pirâmide é formada por ocorrências de solo, incidentes e incidentes graves. Ao melhorar a eficiência do processo de investigação desses eventos, o CENIPA está atuando diretamente na prevenção dos acidentes, localizados no topo da pirâmide.

Com base na teoria apresentada, foi possível analisar o comportamento da distribuição das ocorrências militares nos períodos AA e DA, que será explorado no item 4 (Análise) deste trabalho.

### 2.2 Teoria do dominó

A teoria do dominó (Figura 2), também desenvolvida por Heinrich, defende a ideia de que um acidente é resultado de uma cadeia de eventos que ocorre em sequência lógica. Esses eventos podem ser representados como se fossem peças de dominós enfileiradas uma após a outra. A queda de uma das peças de dominó significa o acontecimento de uma falha, que levará a queda de uma segunda peça (outra falha) e, dessa forma, falhas sucessivas vão acontecendo até que todas as peças tenham sido derrubadas, tornando o acidente inevitável (MENDONÇA, 2011).

Figura 2 – Teoria do Dominó.



Fonte: Adaptado de Mendonça (2011).

O principal conceito atrelado a essa teoria é o de que, retirando-se uma peça da sequência de dominós, o acidente será evitado (HEINRICH; GRANNIS, 1959 apud MENDONÇA, 2011).

A relação entre essa teoria e o presente trabalho evidencia-se no fato de que a peça a ser retirada pode ter sido identificada durante a investigação de uma ocorrência anterior, seja ela um acidente, um incidente ou uma ocorrência de solo. Ao aumentar a produção de relatórios finais, conseqüentemente aumenta-se a chance de identificação de fatores contribuintes (peças de dominó) que levarão à adoção de ações mitigadoras. Essas ações mitigadoras representam a retirada de uma peça da sequência de dominós e a conseqüente interrupção da cadeia de eventos, auxiliando a prevenir futuros acidentes.

### 2.3 Teoria dos acidentes organizacionais

James Reason, renomado pesquisador na área do erro humano, apresentou em 1997 o modelo do Queijo Suíço para acidentes organizacionais (Figura 3). A teoria de Reason (1997) aponta que sistemas complexos são protegidos por múltiplas barreiras de defesa a fim de impedir que situações de risco evoluam para um acidente. Todavia, essas barreiras possuem fraquezas que, quando se manifestam em falhas latentes, podem permitir a ocorrência de um evento catastrófico. Nessa teoria, as barreiras são como fatias de um queijo suíço, e suas fraquezas são representadas pelos buracos do queijo nas fatias. À luz da teoria apresentada, essas condições independem da complexidade da ocorrência, de forma que ocorrências simples possuem condições latentes tanto quanto ocorrências mais complexas (REASON, 1997).

A teoria do Queijo Suíço foi amplamente aceita na comunidade aeronáutica e é, até os dias atuais, utilizada

para auxiliar na investigação de acidentes aéreos por todo o mundo. A ligação entre esta pesquisa e a teoria de Reason consiste em identificar falhas latentes durante a investigação de ocorrências. A ampliação da possibilidade de identificação de falhas latentes é uma conseqüência direta do aumento da capacidade de produção de relatórios finais. As ações mitigadoras dessas falhas nas barreiras de defesa representam a obstrução dos furos (falhas) das fatias de queijo (barreiras), contribuindo para a prevenção de futuros acidentes.

### 3 METODOLOGIA

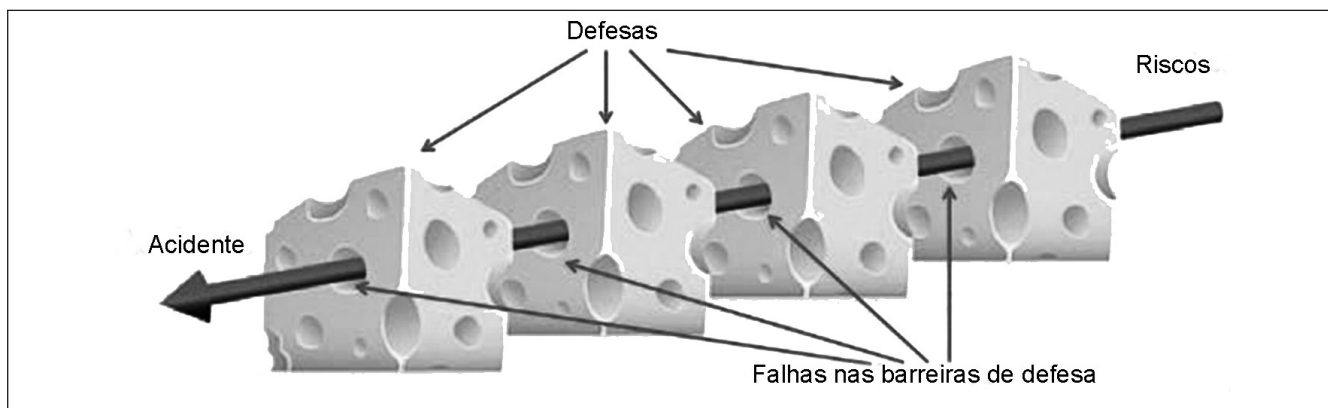
Atendendo ao objetivo geral e, segundo o que preconiza Gil (2002), esta pesquisa classificou-se como descritiva, pois estabeleceu a relação entre a adoção do RFS e a capacidade de produção de relatórios de investigação por parte do CENIPA, nos dois períodos especificados neste trabalho.

Com o objetivo de introduzir o assunto, foi realizada uma revisão de literatura das principais teorias a respeito das causas de acidentes e incidentes em sistemas complexos, relacionando essas teorias com as atividades desenvolvidas pelo CENIPA, no âmbito da investigação de ocorrências aeronáuticas militares.

Quanto aos procedimentos técnicos, o delineamento da pesquisa foi classificado como documental, segundo Gil (2002), por coletar dados nas bases estatísticas de ocorrências aeronáuticas militares e nos registros de produção de relatórios finais da Subdivisão de Investigação (SDINV) da Divisão Operacional (DOP) do CENIPA.

Para que os resultados fossem proporcionais e possibilitassem uma análise uniforme, foram considerados dois intervalos de tempo iguais, um anterior e outro posterior à adoção do RFS.

**Figura 3** – Teoria do Queijo Suíço.



Fonte: Adaptado de Reason (1997).

a) Antes da Adoção (AA) – de 1º de janeiro a 30 de setembro de 2014; e

b) Depois da Adoção (DA) – de 1º de janeiro a 30 de setembro de 2015.

Esta pesquisa foi conduzida durante o ano de 2015, ano coincidente com o período DA. Por esse motivo, os períodos considerados para coleta de dados e análise estenderam-se até 30 de setembro em ambos os ciclos, sendo esta uma limitação do trabalho.

De todo o universo de investigações conduzidas no âmbito da aviação militar, a amostra deste trabalho corresponde aos 105 (cento e cinco) RF iniciados e 26 (vinte e seis) RF finalizados no período AA; e aos 116 (cento e dezesseis) RFS iniciados e 97 (noventa e sete) RFS finalizados no período DA.

A pesquisa realizada na base de dados do CENIPA permitiu identificar o quantitativo de processos de RF e RFS militares iniciados nos dois períodos. Estas informações conduziram à resposta da primeira questão norteadora e, conseqüentemente, ao alcance do primeiro objetivo específico. Os dados obtidos foram organizados por tipo de classificação de ocorrências (acidente, incidente grave, incidente e ocorrência de solo) a fim de averiguar o comportamento destas em relação a sua distribuição.

Visando responder à segunda e à terceira questões norteadoras, verificou-se o quantitativo de RF e RFS finalizados nos períodos AA e DA, respectivamente. Ao término do levantamento de dados, os números obtidos levaram à resposta das questões norteadoras 2 e 3 e, em consequência, ao alcance do segundo e do terceiro objetivo específico. Com os dados conhecidos, foi conduzida uma análise exploratória do cenário, comparando-se a capacidade de produção em cada um dos períodos estabelecidos. Para quantificar os dados, foi utilizado um indicador denominado Índice de Investigação de Ocorrências Militares (IIOM) definido, segundo a Equação 1.

$$IIOM = \left( \frac{\sum x_i}{\sum y_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde,

IIOM = Índice de Investigação de Ocorrências Militares;

$\sum x_i$  = quantidade de relatórios finais finalizados em cada período; e

$\sum y_i$  = quantidade de relatórios finais iniciados em cada período.

O IIOM relaciona a quantidade de RF/RFS iniciados com a quantidade de RF/RFS finalizados em cada período. A Equação 1 foi aplicada para determinação do  $IIOM_{AA}$  e  $IIOM_{DA}$ . A análise da diferença entre os valores foi realizada, conforme Equação 2.

$$\Delta IIOM = IIOM_{DA} - IIOM_{AA} \quad (2)$$

O resultado da Equação 2 demonstrou percentualmente um indicio de dependência entre

a adoção do RFS e a capacidade de produção do CENIPA. Entretanto, foi necessário testar essa hipótese para concluir se este indicio era estatisticamente significativo. Para isso, foi realizado o teste estatístico Qui-Quadrado ( $X^2$ ), que será detalhado a seguir.

### 3.1 Teste Qui-Quadrado ( $X^2$ )

De posse dos dados obtidos, o teste estatístico Qui-Quadrado ( $X^2$ ) foi aplicado, conforme Ryan (2009). De acordo com o autor, o teste  $X^2$  é aplicável quando os dados são apresentados em forma de frequência. A aplicação do teste tem por finalidade detectar significância estatística da diferença entre dois ou mais grupos independentes, ou seja, testar a independência entre duas ou mais variáveis.

Para a aplicação do teste, é necessário validar as seguintes exigências no conjunto de dados:

- nível de mensuração em escala nominal;
- em tabelas 2x2, as frequências esperadas devem ser maior do que 5; e
- os grupos comparados devem ser independentes.

O teste foi realizado considerando duas hipóteses, são elas:

$\lambda_0$  : as variáveis são independentes; e

$\lambda_1$  : as variáveis não são independentes, ou seja, o comportamento de uma interfere na outra.

A hipótese nula ( $\lambda_0$ ) foi testada utilizando-se a Equação 3.

Onde,

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (3)$$

$k$  = número de grupos;

$O$  = frequência observada; e

$E$  = frequência esperada.

O cálculo para encontrar as frequências esperadas é dado pela regra, segundo Equação 4.

$$E_{ij} = \frac{\sum \text{linha } i \times \sum \text{coluna } j}{\text{soma total}} \quad (4)$$

Os graus de liberdade são definidos pela Equação 5.

$$gl = (\text{quantidade de linhas} - 1) \times (\text{quantidade de colunas} - 1) \quad (5)$$

#### 3.1.1 Aplicação do teste $X^2$

Primeiramente foram extraídos os dados por meio das respostas das três questões norteadoras.

Os resultados obtidos correspondem às frequências observadas, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1** – Tabela de frequências observadas.

Período	RF/RFS iniciados	RF/RFS finalizados
AA	$O_{11}$	$O_{12}$
DA	$O_{21}$	$O_{22}$

Fonte: O autor.

Conhecidos os valores das frequências observadas ( $O_{11}$ ,  $O_{12}$ ,  $O_{21}$  e  $O_{22}$ ), foram estabelecidos os somatórios das linhas e colunas da tabela, necessários para a aplicação das Equações 6 a 9.

$$\sum \text{linha } 1 = O_{11} + O_{12} \quad (6)$$

$$\sum \text{linha } 2 = O_{21} + O_{22} \quad (7)$$

$$\sum \text{coluna } 1 = O_{11} + O_{21} \quad (8)$$

$$\sum \text{coluna } 2 = O_{12} + O_{22} \quad (9)$$

As somas encontradas podem ser dispostas, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2** – Frequências observadas com somatórios totais.

Período	Capacidade de Produção		
	RF/RFS iniciados	RF/RFS finalizados	Totais
AA	$O_{11}$	$O_{12}$	$\sum \text{linha } 1$
DA	$O_{21}$	$O_{22}$	$\sum \text{linha } 2$
Totais	$\sum \text{coluna } 1$	$\sum \text{coluna } 2$	<i>Soma total</i>

Fonte: O autor.

A partir das Equações 6 a 9, obtêm-se as frequências esperadas  $E_{11}$ ,  $E_{12}$ ,  $E_{21}$  e  $E_{22}$ , conforme Equações 10 a 11.

$$E_{11} = \frac{\sum \text{linha } 1 \times \sum \text{coluna } 1}{\text{soma total}} \quad (10)$$

$$E_{12} = \frac{\sum \text{linha } 1 \times \sum \text{coluna } 2}{\text{soma total}} \quad (11)$$

$$E_{21} = \frac{\sum \text{linha } 2 \times \sum \text{coluna } 1}{\text{soma total}} \quad (12)$$

$$E_{22} = \frac{\sum \text{linha } 2 \times \sum \text{coluna } 2}{\text{soma total}} \quad (13)$$

Uma vez conhecidas as frequências esperadas, os dados obtidos foram validados, de acordo com as exigências **a**, **b** e **c** do teste, dispostas no item 3.1.

Finalmente, após a obtenção e validação de todos os dados, foi possível realizar o cálculo do teste estatístico  $X^2$ , bem como dos graus de liberdade da estatística aplicada. O valor de  $X^2$  calculado foi comparado com o valor crítico de  $X^2$  tabelado (Figura 4), considerando o nível de significância de 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ). A comparação de valores de  $X^2$  segue os critérios indicados nas Equações 14 e 15.

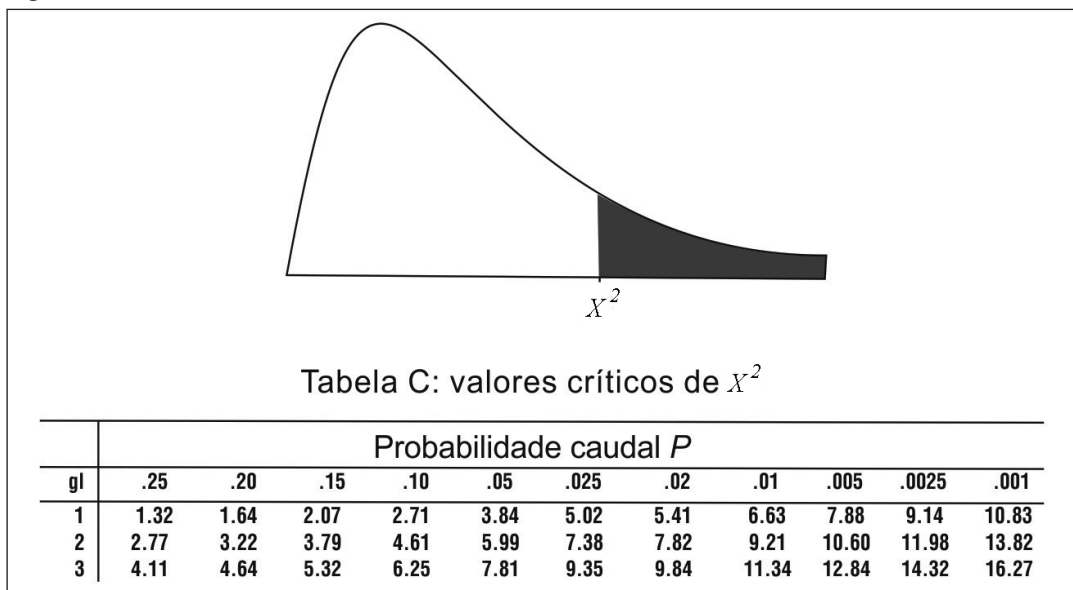
$$X^2 \text{ calculado} > X^2 \text{ tabelado} = \lambda_0; \text{ rejeitada} \quad (14)$$

$$X^2 \text{ calculado} < X^2 \text{ tabelado} = \lambda_0; \text{ verdadeira} \quad (15)$$

A rejeição de uma hipótese valida a outra hipótese com grau de confiabilidade de 95%, uma vez que o nível de significância estabelecido para o teste foi o de 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ).

A comparação entre o valor de  $X^2$  calculado e o valor de  $X^2$  tabelado subsidiou a análise e a compreensão do resultado obtido, elucidando o objetivo geral deste trabalho e respondendo ao problema de pesquisa.

**Figura 4** – Valores críticos de  $X^2$ .

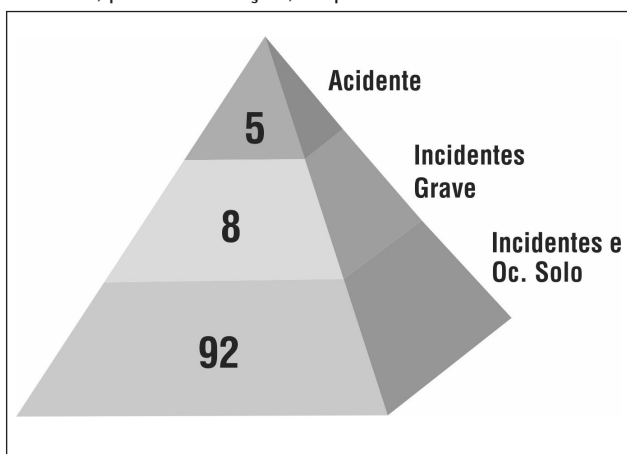


Fonte: Adaptado de Ryan (2009, tradução nossa).

#### 4 ANÁLISE

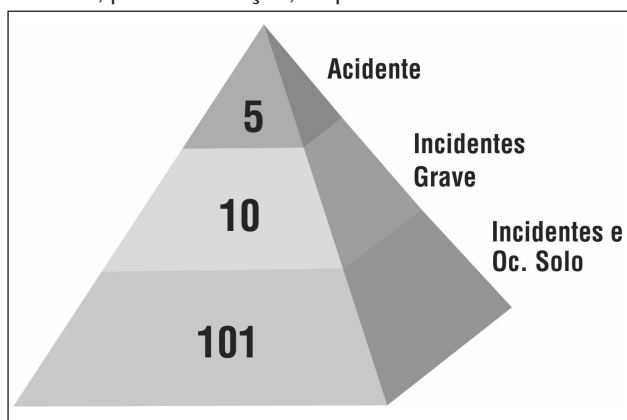
Com vistas a investigar o problema proposto, foi realizada a análise e interpretação dos dados, com base no referencial teórico e na metodologia apresentados. Inicialmente foi conduzida uma análise direta da distribuição das ocorrências aeronáuticas militares, quanto a sua classificação, nos períodos AA e DA. Apesar de a razão entre as ocorrências não ter sido exatamente como a teoria do triângulo de Heinrich descreve no referencial teórico, a distribuição em forma de pirâmide pôde ser observada, conforme Figuras 5 e 6 a seguir.

**Figura 5** – Distribuição das ocorrências aeronáuticas militares, por classificação, no período AA.



Fonte: Adaptado de MENDONÇA (2011).

**Figura 6** – Distribuição das ocorrências aeronáuticas militares, por classificação, no período DA.



Fonte: Adaptado de MENDONÇA (2011).

A distribuição apresentada corrobora o referencial teórico. O aumento da capacidade de produção de relatórios finais das ocorrências

localizadas na base do triângulo possibilita a determinação de uma quantidade maior de fatores contribuintes e falhas latentes, representados pelos dominós e buracos nas fatias de queijo das teorias discutidas anteriormente.

O passo seguinte consistiu na realização de uma análise exploratória da capacidade de produção de RF e RFS, por período, conforme ilustrado na Figura 7. Analisando a referida figura, percebe-se que a diferença entre o número de RF/RFS iniciados e o número de RF/RFS finalizados é menor no período DA, em comparação ao período AA.

Se a diferença entre processos iniciados e processos finalizados é baixa, pode-se concluir que a produtividade é alta e que o CENIPA é capaz de absorver a demanda de trabalho. Em contrapartida, se essa diferença é elevada, pode-se concluir que a produtividade é pequena e, conseqüentemente, que o CENIPA não é capaz de absorver a demanda de trabalho que é imposta ao Centro. Vale ressaltar que, em ambos os períodos, a quantidade de investigadores envolvidos no processo de produção de relatórios foi a mesma.

Como forma de estimar a capacidade de produção de relatórios finais, foi utilizado o indicador *IOM* em cada período.

Ao aplicar os valores da Figura 7, na Equação 1, foram obtidos os seguintes *IOM* para cada período:

$$IOM_{AA} = \left( \frac{26}{105} \right) \times 100 = 24,76\%; \text{ e}$$

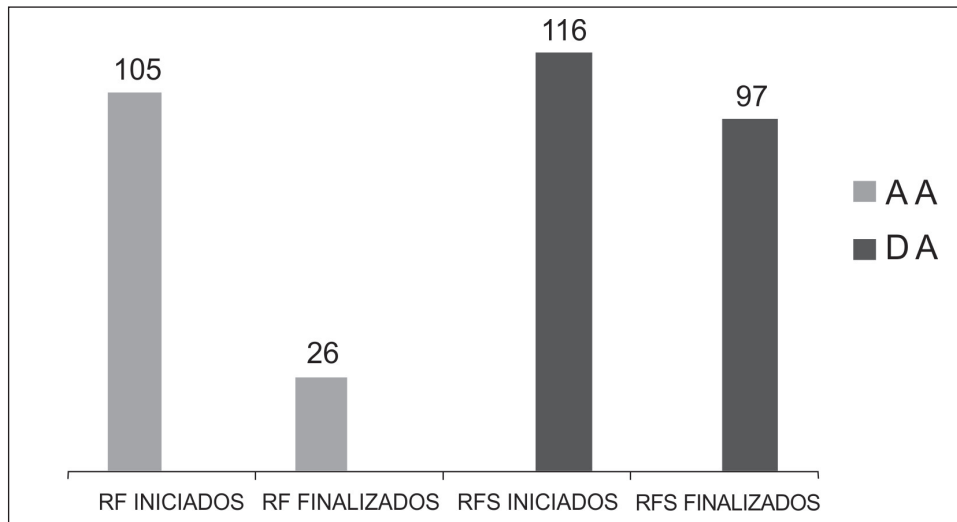
$$IOM_{DA} = \left( \frac{97}{116} \right) \times 100 = 83,62\%$$

Para verificar a variação do *IOM*, foi utilizada a Equação 2.

$$\Delta IOM = 83,62\% - 24,76\%$$

$$\Delta IOM = 58,86\%$$

O comportamento encontrado na análise da variação do *IOM* denota um indício de aumento na capacidade de produção no período DA em 58,86%. Entretanto, foi necessário testar essa hipótese para concluir se este indício era estatisticamente significativo. O teste selecionado para essa verificação foi o teste estatístico Qui-Quadrado.

**Figura 7** – Produtividade de RF/RFS, por período.

Fonte: O autor.

Para a aplicação do teste, foram utilizados os dados obtidos por meio das respostas às questões norteadoras. Dessa forma, as Tabelas 1 e 2, com os valores reais calculados, deram origem à Tabela 3, que contém as frequências observadas e os somatórios de linhas e colunas.

**Tabela 3** – Valores reais de frequências observadas e somatórios de linhas e colunas.

Período	Capacidade de Produção		
	RF/RFS iniciados	RF/RFS finalizados	Totais
AA	105	26	131
DA	116	97	213
Totais	221	123	344

Fonte: O autor.

As hipóteses de dependência entre o RFS e a capacidade de produção de relatórios finais foram formuladas da seguinte maneira:

- $\lambda_0$ : a capacidade de produção de relatórios finais não se alterou com a adoção do RFS; e
- $\lambda_1$ : a capacidade de produção de relatórios finais aumentou após a adoção do RFS.

Para a realização do teste, foi necessário conhecer as frequências esperadas, as quais foram obtidas por intermédio das Equações 10, 11, 12 e 13.

$$E_{11} = \frac{131 \times 221}{344} = 84,15$$

$$E_{12} = \frac{131 \times 123}{344} = 46,84$$

$$E_{21} = \frac{213 \times 221}{344} = 136,84$$

$$E_{22} = \frac{213 \times 123}{344} = 76,15$$

Uma vez conhecidas as frequências observadas, as frequências esperadas e os somatórios de linhas e colunas, os dados foram validados, conforme as exigências do teste, dispostas no item 3.1. Assim, tem-se que:

a) a exigência **a** foi atendida, pois os dados são quantitativos discretos;

b) a exigência **b** também foi atendida, uma vez que todos os valores de frequência esperada são maiores do que 5; e

c) a exigência **c** foi atendida, em razão dos dados serem independentes, ou seja, os dados coletados no período AA não interferem nos dados coletados no período DA.

Com base no que preconiza Ryan (2009), foi possível calcular o valor de  $X^2$ :

$$\begin{aligned}
 X^2 &= \frac{(O_{11} - E_{11})^2}{E_{11}} + \frac{(O_{12} - E_{12})^2}{E_{12}} + \\
 &\quad \frac{(O_{21} - E_{21})^2}{E_{21}} + \frac{(O_{22} - E_{22})^2}{E_{22}} \\
 X^2 &= \frac{(105 - 84,15)^2}{84,15} + \frac{(26 - 46,84)^2}{46,84} + \\
 &\quad \frac{(116 - 136,84)^2}{136,84} + \frac{(97 - 76,15)^2}{76,15} \\
 X^2 &= 5,17 + 9,27 + 3,17 + 5,71 \\
 X^2 &= 23,32
 \end{aligned}$$

Após o cálculo do  $X^2$ , calculou-se a quantidade de graus de liberdade da estatística por meio da Equação 5.

$$gl = (\text{quantidade de linhas} - 1) \times (\text{quantidade de colunas} - 1)$$
$$gl = (2 - 1) \cdot (2 - 1)$$
$$gl = 1$$

Na Figura 4 de valores críticos de  $X^2$ , para um grau de liberdade ( $gl = 1$ ) e nível de significância de 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ), o valor crítico de  $X^2$  encontrado foi 3,84.

Comparando-se o valor calculado com o valor tabelado, tem-se que:

$$\text{valor calculado (23,32)} > \text{valor tabelado (3,84)}$$

Dessa forma, foi possível rejeitar a hipótese nula  $\lambda_0$  e validar a hipótese alternativa  $\lambda_1$ , conforme a Equação 14, com grau de confiabilidade de 95%.

Sendo assim, a partir das informações apresentadas e do resultado do teste aplicado, pode-se concluir estatisticamente que a capacidade do CENIPA em produzir relatórios finais no âmbito da aviação militar aumentou depois da adoção do RFS, confirmando o indício observado na análise da Figura 7.

Com essa constatação, pode-se verificar que a adoção do RFS impactou no aumento em 58,86% da capacidade de produção de relatórios finais militares produzidos pelo CENIPA, nos nove primeiros meses do ano de 2015.

Pode-se, portanto, afirmar que o CENIPA aumentou a sua capacidade de atuação nas ocorrências que constituem a base do Triângulo de Heinrich e ampliou as possibilidades de identificação de fatores contribuintes e falhas latentes, representados pelas teorias do Dominó e do Acidente Organizacional, respectivamente.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho foi conduzido com o objetivo de sanar a seguinte inquietação: em que medida a adoção do Relatório Final Simplificado (RFS) impactou na capacidade de produção de relatórios finais da aviação militar pelo CENIPA, de janeiro a setembro de 2015? Com a finalidade de responder o referido problema de pesquisa e, assim, alcançar o seu objetivo geral, foram elaboradas três questões norteadoras e três objetivos específicos.

Inicialmente a pesquisa documental e a coleta de dados atenderam ao primeiro objetivo específico (OE1) de identificar a quantidade de RF e RFS militares iniciados em cada um dos períodos estabelecidos.

No período AA foram contabilizados 5 acidentes, 8 incidentes graves e 92 incidentes/ocorrências de solo, perfazendo um total de 105 ocorrências. No período DA foram registrados 5 acidentes, 10 incidentes graves e 101 incidentes/ocorrências de solo, perfazendo um total de 116 ocorrências. Os dados obtidos foram organizados por classificação de ocorrência e apresentaram distribuição condizente com o que preconiza a teoria do Triângulo de Heinrich. Observou-se que os eventos de menor gravidade concentraram-se nas bases das pirâmides das Figuras 5 e 6.

Em seguida os documentos da base de dados do CENIPA foram consultados com a finalidade de atender ao segundo objetivo específico (OE2) que é de identificar a quantidade de RF finalizados no período AA, no âmbito da aviação militar. Os dados obtidos contabilizaram 26 RF finalizados no período.

Por meio da consulta documental à mesma base de dados citada anteriormente, foram coletadas informações a fim de atender ao terceiro objetivo específico (OE3) de identificar a quantidade de RFS finalizados no período DA, no âmbito da aviação militar. Os números coletados contabilizaram 97 RFS finalizados no período.

Observou-se, durante o estudo que, após a adoção do RFS, o número de processos de investigação finalizados aumentou em relação ao período anterior à mudança. Para quantificar esse aumento na capacidade de produção de relatórios finais, foi utilizado o indicador  $IOM$ , que relacionou a quantidade de RF/RFS iniciados com a quantidade de RF/RFS finalizados em cada período da pesquisa. A comparação entre o  $IOM_{AA}$  e  $IOM_{DA}$  demonstrou um indício de aumento de 58,86% na capacidade de produção de relatórios finais, após a adoção do RFS.

O aumento na capacidade de produção foi comprovado por meio da aplicação do exame estatístico Qui-Quadrado que confirmou a significância estatística do valor calculado e a existência de correlação entre a quantidade de relatórios finalizados pelo CENIPA e a adoção do RFS no escopo da aviação militar, para o nível de significância 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ).

Esta estimativa conduziu ao alcance do objetivo geral desta pesquisa, a partir do qual se conclui que a adoção do RFS impactou no aumento em 58,86% da capacidade de produção de relatórios finais militares produzidos pelo CENIPA, nos nove primeiros meses do ano de 2015.

Produzindo-se um número maior de relatórios, amplia-se a possibilidade de identificação de fatores contribuintes e falhas latentes. À luz do referencial teórico, os fatores contribuintes representam as

peças de dominó, enquanto as falhas latentes representam os buracos das fatias do queijo suíço. As ações mitigadoras decorrentes dos relatórios finais representam a retirada de uma peça da sequência de dominós e (ou) a obstrução dos buracos das fatias do queijo suíço, contribuindo para a prevenção de futuros acidentes.

Dessa forma, o aumento da capacidade de produção de relatórios finais tem implicação direta na prevenção de acidentes da aviação militar. Essa evolução na celeridade do processo de investigação das ocorrências aeronáuticas militares no CENIPA implica diferença significativa no contexto atual de Força Aérea Brasileira, com economia de recursos e maximização de resultados.

Ademais, os resultados desta pesquisa podem auxiliar o Comando da Aeronáutica e o próprio CENIPA no planejamento da dotação de pessoal e de sua distribuição dentro do Centro, diminuindo as consequências da rotatividade de pessoal.

Por fim, a presente pesquisa permite uma análise dos efeitos do novo relatório adotado (RFS) e ratifica a sua utilização no âmbito da investigação de ocorrências aeronáuticas militares.

Considerando que neste trabalho foi abordada apenas a análise quantitativa dos dados, sugere-se que outras pesquisas investiguem qualitativamente o impacto da adoção do RFS nos processos investigativos conduzidos pelo CENIPA, no âmbito da aviação militar.

## REFERÊNCIAS

AMANCIO, D. B. **O impacto da adoção do Relatório Final Simplificado nos processos Investigativos de Acidentes Aeronáuticos realizados pelo Comando da Aeronáutica.**

2015. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais). Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 1986. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L7565.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7565.htm)>. Acesso em: 15 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Portaria nº 2230/GC3, de 23 de dezembro de 2013. Aprova a reedição da NSCA 3-6, que dispõe sobre a Investigação de Ocorrências Aeronáuticas com Aeronaves Militares. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n. 248, 30 dez. 2013.

\_\_\_\_\_. Portaria nº 166/GC3, de 12 de fevereiro de 2014. Aprova a reedição da NSCA 3-13, que dispõe sobre os Protocolos de Investigação de Ocorrências Aeronáuticas da

Aviação Civil conduzidas pelo Estado Brasileiro. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n. 34, 18 fev. 2014.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Annex 13, Aircraft Accident and Incident Investigation.** 10. ed. Montreal, 2010.

MENDONÇA, F. A. C. A ficha CENIPA 15 e as atividades de prevenção do risco aviário. **Revista Conexão SIPAER**, v. 2, n. 3, 2011.

REASON, J. T. **Managing the Risks of Organizational Accidents.** Aldershot: Ashgate, 1997.

RYAN, T. **Estatística moderna para engenharia.** Campus: Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, R. **Guia Técnico de Ação Inicial de Investigação de Acidentes Aeronáuticos com Aeronaves de Asas Fixas de Acordo com Técnicas Recomendadas Internacionalmente.** 2012. 206 f. Dissertação (Mestrado em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2012.



# The impact of the application of the Simplified Final Report (SFR) on the investigative processes of aeronautical occurrences of military aviation carried out by CENIPA

*El impacto de la adopción del Informe Final Simplificado (RFS) en los procesos investigativos de sucesos aeronáuticos de la aviación militar, conducidos por el CENIPA*

*O impacto da adoção do Relatório Final Simplificado (RFS) nos processos investigativos de ocorrências aeronáuticas da aviação militar, conduzidos pelo CENIPA*

Thiago Alexandre Lirio<sup>1</sup>

## ABSTRACT

The Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center (CENIPA) has implemented measures to increase the speed of the investigation process of aeronautical occurrences. In this context, the present study aimed to verify the extent to which the application of the Simplified Final Report (SFR) impacted on the amount of final military reports produced by CENIPA in the first nine months of 2015. The focus of the study was to verify if the production capacity of final reports by CENIPA has changed after the application of the SFR for the investigation of military occurrences. The analysis was based on the statistical correlation between two periods of equal duration, one before and one after the application of the SFR. To quantify the impact on production capacity of final reports, an indicator that related the number of reports initiated and finalized in each period of the survey was applied. The indicator showed an increase of 58,86% in the production capacity of final reports after the application of the SFR in the field of military aviation from January to September 2015. The increase was confirmed by the Chi-Square statistical test, which confirmed the statistical significance among the variables and detected a correlation between the number of reports completed by CENIPA and the application

of the SFR, at the level of significance established in this research.

**Keywords:** Production capacity. Simplified final report. Final report. Military aviation.

## RESUMEN

*El Centro de Investigación y Prevención de Accidentes Aeronáuticos (CENIPA) ha adoptado medidas que aumenten la celeridad de los procesos de investigación de sucesos aeronáuticos. En este contexto, la presente investigación tuvo por objetivo verificar en qué medida la adopción del Informe Final Simplificado (RFS) impactó en la cantidad de informes finales militares producidos por el CENIPA, en los nueve primeros meses del año 2015. El foco del estudio residía en verificar si la capacidad de producción de informes finales, por el CENIPA había sufrido alteraciones después de la adopción del RFS para la investigación de ocurrencias militares. El análisis se basó en la correlación estadística entre dos períodos de igual duración, uno anterior y otro posterior a la adopción del RFS. Para cuantificar el impacto en la capacidad de producción de informes finales, se utilizó un indicador que relacionó la cantidad de informes iniciados y finalizados en cada período de la investigación. El indicador mostró un indicio de aumento del 58,86% en la capacidad de*

1. Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center (CENIPA) – Brasília/DF – Brazil. Major Aviator of the Brazilian Air Force (FAB). E-mail: thiagolirio@gmail.com

Received: 03/15/17

Accepted: 04/12/18

The acronyms of the words Simplified Final Report (SFR) and Final Report (FR) were employed in English. The other acronyms and abbreviations contained in this article correspond to those used in the original article in Portuguese.

*producción de informes finales, tras la adopción del RFS, en el ámbito de la aviación militar, de enero a septiembre de 2015. El aumento se confirmó mediante la prueba estadística de Chi-Cuadrado que confirmó la significación estadística de las variables y se encontró una correlación entre el número de informes terminados por CENIPA y la adopción de RFS para el nivel de significación establecido en este estudio.*

**Palabras clave:** Capacidad de producción. Informe final simplificado. Informe final. Aviación militar.

## RESUMO

*O Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) tem adotado medidas que aumentem a celeridade dos processos de investigação de ocorrências aeronáuticas. Nesse contexto, a presente pesquisa teve por objetivo verificar a medida em que a adoção do Relatório Final Simplificado (RFS) impactou na quantidade de relatórios finais militares produzidos pelo CENIPA, nos nove primeiros meses do ano de 2015. O foco do estudo residiu em verificar se a capacidade de produção de relatórios finais, pelo CENIPA se alterou após a adoção do RFS para a investigação de ocorrências militares. A análise se embasou na correlação estatística entre dois períodos de igual duração, um anterior e outro posterior à adoção do RFS. Para quantificar o impacto na capacidade de produção de relatórios finais, foi utilizado um indicador que relacionou a quantidade de relatórios iniciados e finalizados em cada período da pesquisa. O indicador demonstrou um índice de aumento de 58,86% na capacidade de produção de relatórios finais, após a adoção do RFS, no âmbito da aviação militar, de janeiro a setembro de 2015. O aumento foi comprovado por meio do exame estatístico Qui-Quadrado que confirmou a significância estatística entre as variáveis e detectou a existência de correlação entre a quantidade de relatórios finalizados pelo CENIPA e a adoção do RFS, para o nível de significância estabelecido nesta pesquisa.*

**Palavras-chave:** Capacidade de produção. Relatório final simplificado. Relatório final. Aviação militar.

---

## 1 CONTEXTUALIZATION

After World War II, there was a need to regulate and standardize civil aviation activities in the world, including those for the investigation of aeronautical

accidents and incidents. This was determined through the International Civil Aviation Convention, also known as the Chicago Convention, of which Brazil is a signatory. The international treaty, signed in 1944, is in force until the present day. The document created the International Civil Aviation Organization<sup>1</sup> (ICAO) and established, through 19 Annexes to the Convention, standards and best practices recommended for aviation (SOUZA, 2012).

In Brazil, Law No. 7.565/1986, which provides for the Aeronautics Brazilian Code, in its Article 86, says that,

The Aeronautical Accident Investigation and Prevention System (SIPAER) is responsible for planning, guiding, coordinating, controlling and executing Aeronautical Accident investigation and prevention activities. (BRASIL, 1986, p. 12).

SIPAER has as its central body the Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center (CENIPA), which is responsible for carrying out these activities, in accordance with the aforementioned law.

The sole purpose of the SIPAER investigation is to avoid the occurrence of similar aeronautical occurrences in the future, by identifying contributing factors and issuing safety recommendations, which may eliminate or mitigate those factors. At SIPAER, military aeronautical occurrences are classified into four categories: aeronautical accident, serious aeronautical incident, aeronautical incident and ground occurrence (BRAZIL, 2013).

The final report is the document that concludes the investigation and disseminates the lessons learned from an aeronautical occurrence, and its concept is specified at SIPAER.

A formal document, intended to disclose the official conclusion of SIPAER, based on the elements of investigation, analysis, conclusion and Safety Recommendations related to an aeronautical accident, serious aeronautical incident, aeronautical incident or ground occurrence, aiming exclusively the prevention of new occurrences. (BRASIL, 2014, p. 13).

The 19 Annexes to the Chicago Convention are divided by specific themes from distinct aviation areas. Issues related to the investigation of aeronautical accidents and incidents are set forth in Annex 13 of the 1944 International Civil Aviation Convention. Section 6.5 of that document states that, in the interest of prevention, the State, in conducting an accident or incident investigation, shall publish a final report in

---

<sup>1</sup> Organization with 191 member countries whose objective is to develop Recommended Standards and Practices for international civil aviation.

the shortest possible term and, if possible, within a period of twelve months (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2010). This section highlights the relevance that the Organization assigns to the time factor for the prevention of accidents. Brazil also recognizes time as fundamental factor for the prevention of future occurrences and, for this reason, CENIPA has taken steps to make the investigation process faster and more efficient.

In this context, in 2013, the Simplified Final Report (SFR) was created in the field of civil aviation. The SFR is a simplified version of the Final Report (FR), which enables a faster investigation and compatible with the complexity of the occurrences on which it is applied. The results generated by this initiative were proven by Amancio (2015), who concluded in his research that the application of the SFR accelerated in more than 4 times the processing time of Brazilian civil aviation investigations.

It is important to emphasize that SFR was a tool created to be applied in specific and less complexity cases, and that the FR has not ceased to exist. Both final report models (FR and SFR) contain contributing factors and safety recommendations in their content and, therefore, represent the official conclusion of SIPAER for a given investigation.

The investigation of aircraft accidents in Brazil has a peculiar characteristic to gather in the same organization, CENIPA, the activities related to civil and military aviation. This condition enables the knowledge acquired in the exercise of civil aviation investigations to be applied on military aviation prevention and investigation activities and vice-versa.

Based on the experience of civil aviation in 2013, CENIPA decided to adopt, as of January 1st, 2015, the SFR also for military aviation. This simplified report is being applied to serious incidents, incidents and ground occurrences, and follows reasoning similar to that used when the tool was inserted in the context of civil aviation. For occurrences that are classified as accidents, the FR remains the applied reporting model.

The differences between FR and SFR are not restricted to the report format, because in addition to the document structure, the process of investigating the occurrences has also been simplified. While an accident investigated by means of FR necessarily involves three steps until its investigation is considered complete, the minor incidents that are investigated through SFR cover only two stages. Therefore the process gains in speed and efficiency.

The time spent to produce a final report (whether FR or SFR) is of major importance in the context of accident prevention, since the publication of these reports is one of the main ways CENIPA uses to work directly with military aviation actors. It can be inferred, therefore, that the faster the research process is, the more quickly the lessons learned will be disseminated and sooner the research cycle will be finalized (AMANCIO, 2015).

The speed of military investigations is directly related to the production capacity of the CENIPA's Investigation Subdivision (SDINV). In the scope of this paper, the term **production capacity** means the amount of final reports that CENIPA can produce in a given period of time.

To date, no assessment has been made of the impact that the application of SFR has had on CENIPA's ability to produce final reports in the field of military aviation. By acting directly in the conduction of investigation processes of CENIPA, the following question arose and corresponds to the general objective of this work: to what extent did the application of the Simplified Final Report (SFR) have an impact on CENIPA's capacity to produce final reports on military aviation, from January to September 2015?

For data collection and analysis, two distinct periods were considered, as described below:

- a) Before Application (AA) - from January 1<sup>st</sup> to September 30<sup>th</sup>, 2014; and
- b) After Application (DA) - from January 1<sup>st</sup> to September 30<sup>th</sup>, 2015.

In order to achieve the general objective, three guiding questions were elaborated:

GQ1: How many military FR and SFR were initiated in the AA and DA periods, respectively?

GQ2: How many (FR) were finalized in the AA period, in the scope of military aviation?

GQ3: How many (SFR) were finalized in the DA period, in the scope of military aviation?

The resolution of these questions aims to achieve the specific objectives listed below:

SO1: Identify the amount of military FR and SFR initiated in each of the established periods.

SO2: Identify the amount of FR finalized in AA period, within the scope of military aviation.

SO3: Identify the amount of SFR finalized in the DA period, within the scope of military aviation.

The importance of this paper lies in quantitatively verifying whether there was evolution in the speed of the investigation process of Brazilian military aeronautical occurrences, after the application of SFR. This evolution is significant in the current

context of the Brazilian Air Force (FAB) and the Brazilian State regarding the economy of resources and maximization of results in government entities. Additionally, CENIPA's military turnover is quite high, and every time a replacement happens, the substitute takes a significant amount of time to understand the process. A model that is faster and more efficient suffers less from the consequences of the researchers' turnover.

CENIPA has a greater research demand in civil aviation than in military, but it needs to be of equal intensity in both segments so that safety levels remain the same. Thus, the more similar the processes are, the more uniform the results will be.

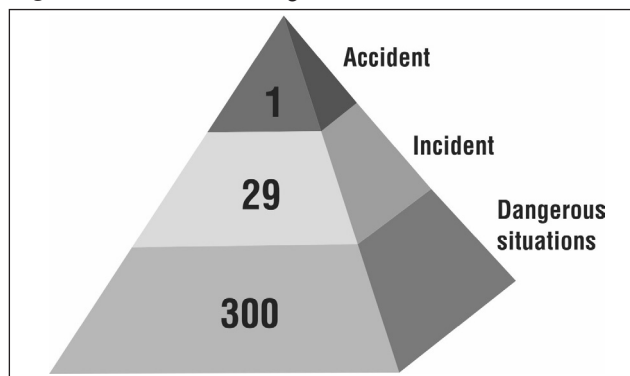
Finally, the results of this research can help the Aeronautics Command (COMAER) and CENIPA itself in the planning of staffing and its distribution within the Center, in addition to allowing an analysis of the effects of the new adopted report (SFR) and ratifying its use in the investigation of military aeronautical events.

## 2 THEORETICAL REFERENCE

### 2.1 Heinrich's Triangle Theory

In the 1950s, Heinrich and Granniss developed a theory that became worldwide known as Heinrich's Triangle, Figure 1. In this study, the researchers analyzed thousands of occurrences and concluded that for every accident with injuries or deaths, hundreds of other similar minor events occur, without injuries or fatalities. The focus of this theory is that events of lesser complexity can and should be identified and controlled before they evolve into more serious events that may result in injury, fatalities or material damage (MENDONÇA, 2011).

Figure 1 – Heinrich's triangle.



Source: Adapted from Mendonça (2011).

Other theories establish different reasons between accidents, incidents and dangerous situations, but also describe that these occurrences have similar reasons, differing only by the consequences they generate. The major contribution of these theories is that less serious cases (dangerous situations and incidents) are considered precursors of accidents and should be investigated (MENDONÇA, 2011).

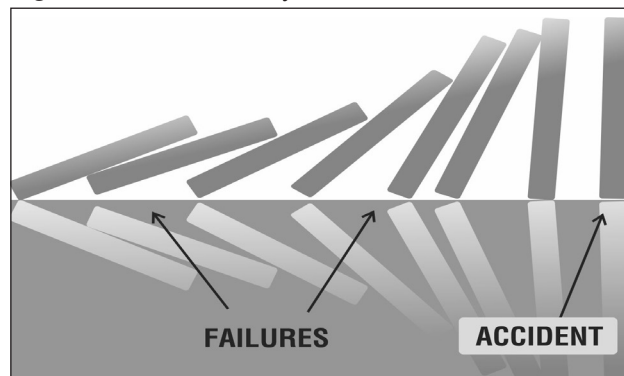
Heinrich's Triangle theory supports the studies of this paper because it emphasizes that the events at the base of the pyramid, when properly and timely investigated, are mitigated before they evolve into a condition of events with more serious consequences. In the case of military aeronautical occurrences, the base of the pyramid is formed by ground occurrences, incidents and serious incidents. By improving the efficiency of the investigation process of these events, CENIPA is acting directly in the prevention of accidents, located at the top of the pyramid.

Based on the theory presented, it was possible to analyze the behavior of the distribution of military occurrences in the AA and DA periods, which will be explored in item 4 (Analysis) of this paper.

### 2.2 Domino theory

The domino theory (Figure 2), also developed by Heinrich, defends the idea that an accident is the result of a chain of events that occur in logical sequence. These events can be represented as if they were pieces of dominos lined up one after another. The fall of one of the dominos pieces means the occurrence of a failure, which will lead to the fall of a second piece (another fault) and, in this way, successive failures will happen until all the pieces have been knocked over, making the accident inevitable (MENDONÇA, 2011).

Figure 2 – Domino Theory.



Source: Adapted from Mendonça (2011).

The main concept attached to this theory is that, by removing a piece from the sequence of dominos, the accident will be avoided (HEINRICH; GRANNIS, 1959 apud MENDONÇA, 2011).

The relationship between this theory and the present paper is evidenced by the fact that the piece to be removed may have been identified during the investigation of an earlier occurrence, whether it is an accident, an incident or a ground occurrence. By increasing the production of final reports, consequently the chance of identifying contributing factors (domino pieces) that will lead to the application of mitigating actions is increased. These mitigating actions represent the withdrawal of a piece from the sequence of dominos and the consequent interruption of the chain of events, helping to prevent future accidents.

### 2.3 Theory of organizational accidents

James Reason, a renowned researcher in the subject of human errors, presented in 1997 the Swiss Cheese model for organizational accidents (Figure 3). Reason's theory (1997) points out that complex systems are protected by multiple defense barriers in order to prevent risky situations from evolving into an accident. However, these barriers have weaknesses that, when manifested in latent failures, may allow the occurrence of a catastrophic event. In this theory, the barriers are like slices of a Swiss cheese, and its weaknesses are represented by the cheese holes in the slices. According to the theory presented, these conditions are independent of the complexity of the occurrence, so that simple occurrences have latent conditions as well as more complex occurrences (REASON, 1997).

The Swiss Cheese theory was widely accepted in the aeronautical community and is, to the present day,

used to aid in the investigation of aircraft accidents around the world. The connection between this research and Reason's theory consists in identifying latent failures during the investigation of occurrences. The expansion of the possibility of identifying latent failures is a direct consequence of the increase in the capacity to produce final reports. The mitigating actions of these failures in the defense barriers represent the obstruction of the holes (failures) of the cheese slices (barriers), contributing to the prevention of future accidents.

### 3 METHODOLOGY

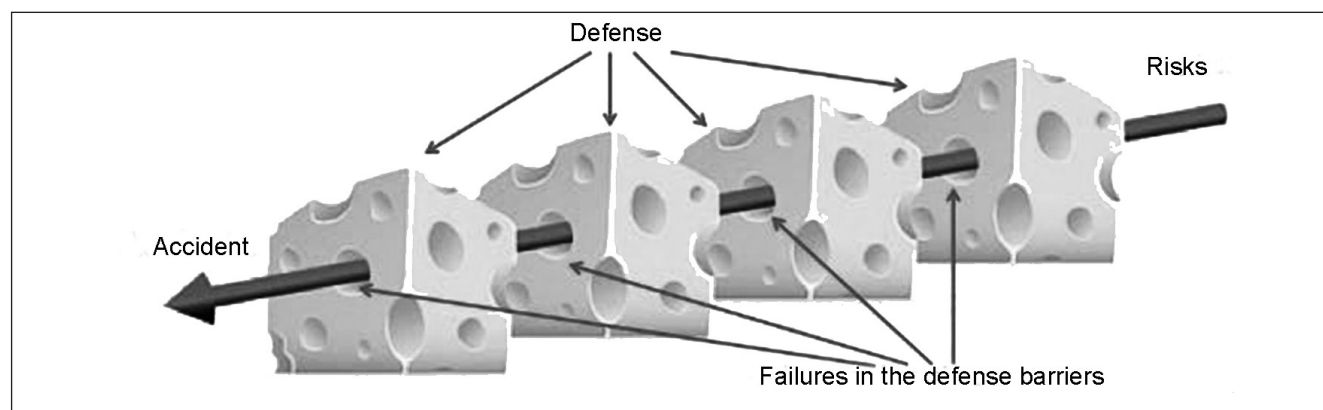
Given the general objective and, according to Gil (2002), this research was classified as descriptive, since it established the relationship between the application of SFR and the production capacity of investigation reports by CENIPA, in the two periods specified in this paper.

In order to introduce the subject, a literature review of the main theories regarding the causes of accidents and incidents in complex systems was carried out, linking these theories to the activities developed by CENIPA, in the scope of the investigation of military aeronautical occurrences.

As for the technical procedures, the research design was classified as a documental, according to Gil (2002), for collecting data on the statistical bases of military aeronautical occurrences and on the final report production records of the Investigation Subdivision () of CENIPA Operational Division (DOP).

In order for the results to be proportional and allow for a uniform analysis, two equal time intervals were considered, one prior and one subsequent to the application of the SFR.

**Figure 3** – Swiss Cheese Model.



Source: Adapted from Reason (1997).

- a) Before Application (AA) - from January 1<sup>st</sup> to September 30<sup>th</sup>, 2014; and
- b) After Application (DA) - from January 1<sup>st</sup> to September 30<sup>th</sup>, 2015.

This research was conducted in the course of 2015, coinciding with the DA period. For this reason, the periods considered for data collection and analysis were extended until September 30<sup>th</sup> in both cycles, which is a limitation of the paper.

From the entire universe of military aviation investigations, the sample of this paper corresponds to the 105 (one hundred and five) FR initiated and 26 (twenty six) FR finalized in the AA period; and to the 116 (one hundred and sixteen) SFR initiated and 97 (ninety seven) SFR finalized in the DA period.

The research carried out in the CENIPA database allowed the identification of quantitative military FR and SFR processes initiated in both periods. These information led to the answer to the first guiding question and, consequently, to the scope of the first specific objective. The data obtained were organized by type of occurrence classification (accident, serious incident, incident and ground occurrence) in order to ascertain the behavior in relation to the distribution.

Aiming to answer the second and third guiding questions, we verified the quantitative of FR and SFR finalized in the AA and DA periods, respectively. At the end of the data collection, the figures obtained led to the answer to guiding questions 2 and 3 and, consequently, to the achievement of the second and third specific objectives. Based on the known data, an exploratory analysis of the scenario was conducted, comparing the production capacity in each of the established periods. To quantify the data, an indicator called Military Occurrence Investigation Index (IOM) was used, defined according to Equation 1.

$$IOM = \left( \frac{\sum x_i}{\sum y_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Where,

*IOM* = Military Occurrence Investigation Index;

$\sum x_i$  = number of final reports finalized in each period; and

$\sum y_i$  = number of final reports initiated in each period.

The *IOM* relates the quantity of FR/SFR initiated with the quantity of FR/SFR finalized in each period. Equation 1 was applied for determination of  $IOM_{AA}$  e  $IOM_{DA}$ . The analysis of the difference between the values was performed, according to Equation 2.

$$\Delta IOM = IOM_{DA} - IOM_{AA} \quad (2)$$

The result of Equation 2 demonstrated in percentage terms an indication of dependency

between the application of SFR and the production capacity of CENIPA. However, it was necessary to test this hypothesis to conclude whether this indication was statistically significant. For this end, the Chi-Square statistical test ( $X^2$ ) was conducted, which is detailed below.

### 3.1 Chi-square test ( $X^2$ )

According to Ryan (2009), the Chi-Square statistical test ( $X^2$ ) was applied on the data obtained in the research. The author states that the  $X^2$  test is applicable when the data is presented in the form of frequency. The purpose of the test is to detect statistical significance of the difference between two or more independent groups, i.e., to test the independence between two or more variables.

For the application of the test, it is necessary to validate the following requirements in the data set:

- a) measurement level on a nominal scale;
- b) in 2x2 tables, the expected frequencies must be greater than 5; and
- c) the groups compared must be independent.

The test was performed considering two hypotheses, they are:

- $\lambda_0$  : the variables are independent; and
- $\lambda_1$  : the variables are not independent, i.e., the behavior of one interferes in the other.

The null hypothesis ( $\lambda_0$ ) was tested using Equation 3.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (3)$$

Where,

*k* = number of groups;

*O* = observed frequency; and

*E* = expected frequency.

The calculation to find the expected frequencies is given by the rule, according to Equation 4.

$$E_{ij} = \frac{\sum \text{line } i \times \sum \text{column } j}{\text{total sum}} \quad (4)$$

The degrees of freedom are defined by Equation 5.

$$gl = (\text{number of lines} - 1) \times (\text{number of columns} - 1) \quad (5)$$

#### 3.1.1 Application of test $X^2$

First the data have been collected through the answers of the three guiding questions.

The results obtained correspond to the observed frequencies, according to Table 1.

**Table 1** – Table of observed frequencies.

Period	initiated FR/SFR	finalized FR/SFR
AA	$O_{11}$	$O_{12}$
DA	$O_{21}$	$O_{22}$

**Source:** The author.

Once the values of the observed frequencies ( $O_{11}$ ,  $O_{12}$ ,  $O_{21}$  and  $O_{22}$ ), have been known, the sums of the rows and columns of the table, necessary for the application of Equations 6 to 9, have been calculated.

$$\sum \text{line 1} = O_{11} + O_{12} \tag{6}$$

$$\sum \text{line 2} = O_{21} + O_{22} \tag{7}$$

$$\sum \text{column 1} = O_{11} + O_{21} \tag{8}$$

$$\sum \text{column 2} = O_{12} + O_{22} \tag{9}$$

The sums found can be arranged according to Table 2.

**Table 2** – Observed frequencies with total sums.

Period	Production Capacity		
	initiated FR/SFR	finalized FR/SFR	Total
AA	$O_{11}$	$O_{12}$	$\sum \text{line 1}$
DA	$O_{21}$	$O_{22}$	$\sum \text{line 2}$
Total	$\sum \text{column 1}$	$\sum \text{column 2}$	Total sum

**Source:** The author.

From Equations 6 to 9, the expected frequencies  $E_{11}$ ,  $E_{12}$ ,  $E_{21}$  and  $E_{22}$  are obtained, according to Equations 10 to 11.

$$E_{11} = \frac{\sum \text{line 1} \times \sum \text{column 1}}{\text{total sum}} \tag{10}$$

$$E_{12} = \frac{\sum \text{line 1} \times \sum \text{column 2}}{\text{total sum}} \tag{11}$$

$$E_{21} = \frac{\sum \text{line 2} \times \sum \text{column 1}}{\text{total sum}} \tag{12}$$

$$E_{22} = \frac{\sum \text{line 2} \times \sum \text{column 2}}{\text{total sum}} \tag{13}$$

Once the expected frequencies were known, the data obtained were validated, according to the requirements **a**, **b** and **c** of the test, arranged in item 3.1.

Finally, after obtaining and validating all the data, it was possible to perform the statistical test  $X^2$  calculation, as well as the degrees of freedom of the applied statistics. The  $X^2$  value calculated was compared with the critical value of  $X^2$  tabulated (Figure 4), considering the level of significance of 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ). The comparison of  $X^2$  values follows the criteria indicated in Equations 14 and 15.

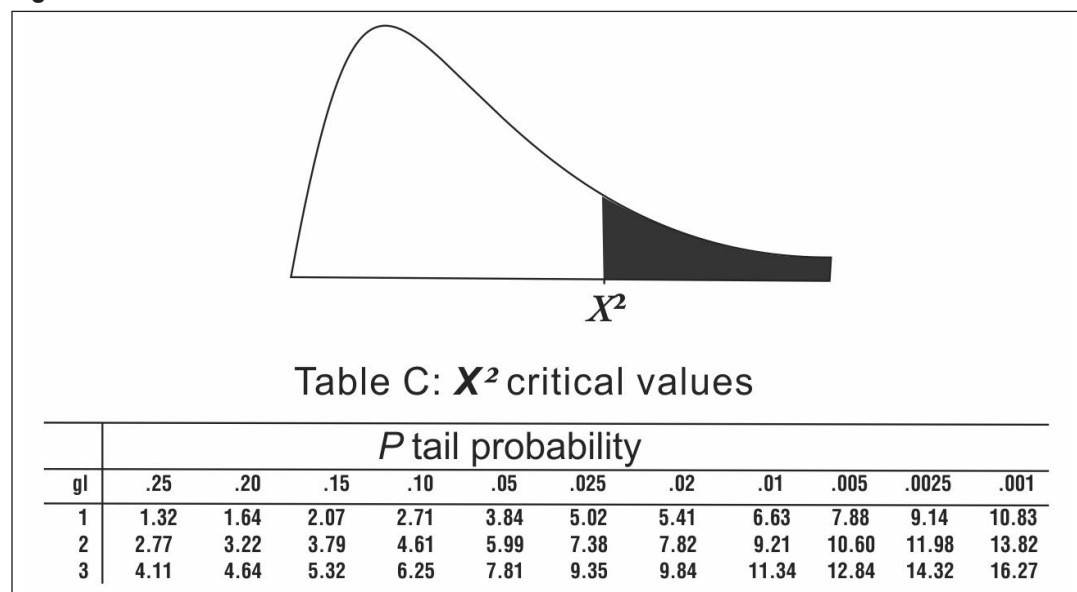
$$X^2 \text{ calculated} > X^2 \text{ tabulated} = \lambda_0; \text{ rejected} \tag{14}$$

$$X^2 \text{ calculated} < X^2 \text{ tabulated} = \lambda_0; \text{ true} \tag{15}$$

The rejection of a hypothesis validates the other hypothesis with a degree of reliability of 95%, since the level of significance established for the test was 0.05 ( $\alpha = 5\%$ ).

The comparison between the value of  $X^2$  **calculated** and the value of  $X^2$  **tabulated** subsidized the analysis and the understanding of the obtained result, elucidating the general objective of this work and responding to the research problem.

**Figure 4** – Critical values of  $X^2$ .

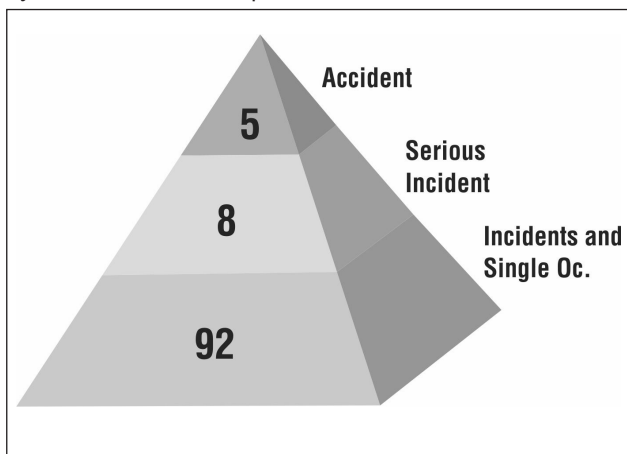


**Source:** Adapted from Ryan (2009).

#### 4 ANALYSIS

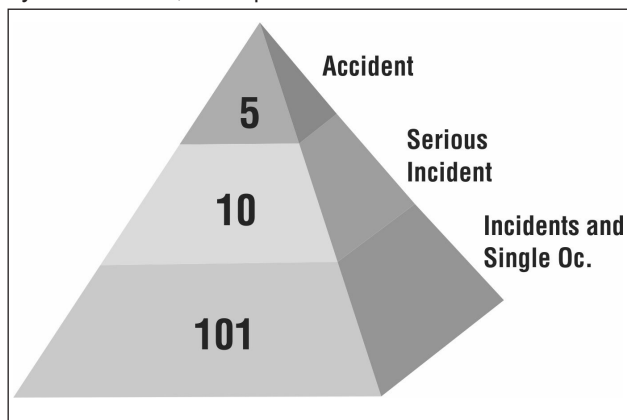
In order to investigate the proposed problem, we performed analysis and interpretation of the data, based on the theoretical framework and methodology presented. Initially a direct analysis of the distribution of the military aeronautical occurrences was carried out, regarding its classification, in AA and DA periods. Although the ratio between occurrences was not exactly as Heinrich’s triangle theory describes in the theoretical reference, the pyramid-shaped distribution could be observed, as shown in Figures 5 and 6 below.

**Figure 5** – Distribution of military aeronautical occurrences, by classification, in AA period.



Source: Adapted from MENDONÇA (2011).

**Figure 6** – Distribution of military aeronautical occurrences, by classification, in DA period.



Source: Adapted from MENDONÇA (2011).

The distribution presented corroborates the theoretical reference. The increase in the production capacity of final reports of the

occurrences located at the triangle base makes it possible to determine a greater amount of contributing factors and latent faults represented by the dominos and holes in the cheese slices of the theories discussed above.

The next step consisted of an exploratory analysis of FR and SFR production capacity, per period, as shown in Figure 7. Analyzing this figure, it is noticed that the difference between the number of FR/SFR initiated and the number of FR/SFR finalized is lower in the DA period, compared to the AA period.

If the difference between processes initiated and processes finished is low, it can be concluded that productivity is high and that CENIPA is able to handle the labor demand. On the other hand, if this difference is high, it can be concluded that productivity is small and, consequently, that CENIPA is not able to handle the demand for labor imposed on the Center. It is noteworthy that in both periods, the number of researchers involved in the reporting process was the same.

As a way of estimating the capacity to produce final reports, the IIOM indicator was used in each period.

When applying the values of Figure 7, in Equation 1, the following IIOM were obtained for each period:

$$IIOM_{AA} = \left( \frac{26}{105} \right) \times 100 = 24,76\%; \text{ and}$$

$$IIOM_{DA} = \left( \frac{97}{116} \right) \times 100 = 83,62\%$$

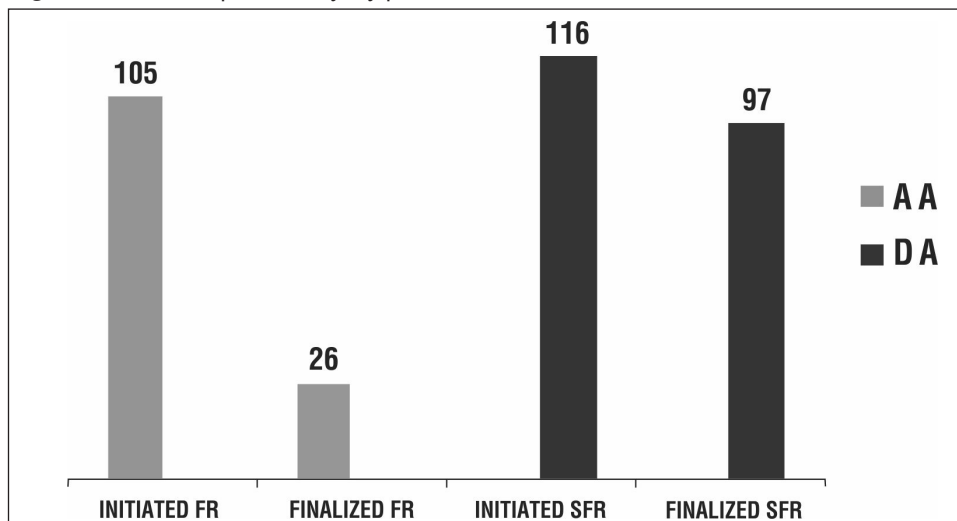
To verify the variation of IIOM, Equation 2 was used.

$$\Delta IIOM = 83,62\% - 24,76\%$$

$$\Delta IIOM = 58,86\%$$

The behavior found in the analysis of the IIOM variation shows an increase in the production capacity in the DA period in 58.86%. However, it was necessary to test this hypothesis to conclude whether this indication was statistically significant. The test selected for this verification was the Chi-Square statistical test.



**Figure 7** – FR/SFR productivity, by period.

Source: The author.

For the application of the test, the data obtained through the answers to the guiding questions were used. Thus, Tables 1 and 2, with real values calculated, generated to Table 3, which contains the observed frequencies and the sums of rows and columns.

**Table 3** – Actual values of observed and summed frequencies of rows and columns.

Period	Production Capacity		
	Initiated FR/SFR	Finalized FR/SFR	Total
AA	105	26	131
DA	116	97	213
Total	221	123	344

Source: The author.

The hypothesis of dependence between the SFR and the capacity to produce final reports was formulated as follows:

- $\lambda_0$ : the production capacity of final reports did not change with the application of SFR; and
- $\lambda_1$ : the production capacity of final reports increased after the application of SFR.

To perform the test, it was necessary to know the expected frequencies, which were obtained through Equations 10, 11, 12 and 13.

$$E_{11} = \frac{131 \times 221}{344} = 84,15$$

$$E_{12} = \frac{131 \times 123}{344} = 46,84$$

$$E_{21} = \frac{213 \times 221}{344} = 136,84$$

$$E_{22} = \frac{213 \times 123}{344} = 76,15$$

Once the observed frequencies, the expected frequencies and the sum of rows and columns were known, the data were validated, according to the test requirements, set forth in item 3.1. Thus, it is known that:

a) the requirement **a** was met because the data are quantitative discrete;

b) the requirement **b** was also met, since all expected frequency values are greater than 5; and

c) the requirement **c** was met because the data are independent, i.e., the data collected in the AA period do not interfere with the data collected during the AD period.

According to Ryan (2009), it was possible to calculate the  $X^2$  value as follows:

$$X^2 = \frac{(O_{11} - E_{11})^2}{E_{11}} + \frac{(O_{12} - E_{12})^2}{E_{12}} + \frac{(O_{21} - E_{21})^2}{E_{21}} + \frac{(O_{22} - E_{22})^2}{E_{22}}$$

$$X^2 = \frac{(105 - 84,15)^2}{84,15} + \frac{(26 - 46,84)^2}{46,84} +$$

$$\frac{(116 - 136,84)^2}{136,84} + \frac{(97 - 76,15)^2}{76,15}$$

$$X^2 = 5,17 + 9,27 + 3,17 + 5,71$$

$$X^2 = 23,32$$

After calculating  $X^2$ , the amount of statistic's freedom degrees was calculated by Equation 5.

$$gl = \frac{(amount\ of\ lines - 1) \times (amount\ of\ columns - 1)}{(2 - 1) \cdot (2 - 1)}$$
$$gl = 1$$

In Figure 4 of critical values of  $X^2$ , for a freedom degree ( $gl = 1$ ) and significance level of 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ), the critical value of  $X^2$  found was 3,84.

Comparing the calculated value with the tabulated value, it is known that:

$$calculated\ value\ (23,32) > tabulated\ value\ (3,84)$$

Thus, it was possible to reject the null hypothesis  $\lambda_0$  and validate the alternative hypothesis  $\lambda_1$ , according to Equation 14, with a degree of reliability of 95%.

Thus, from the information presented and the result of the test applied, it can be concluded statistically that the capacity of CENIPA to produce final reports in the scope of the military aviation increased after the application of the SFR, confirming the evidence observed in the analysis of Figure 7.

With this finding, it can be verified that the application of the SFR impacted on the 58,86% increase in the production capacity of final military reports produced by CENIPA in the nine first months of the year 2015.

Therefore it can be said that CENIPA increased its capacity to act on the occurrences that form the basis of the Heinrich Triangle and extended the possibilities for identification of contributing factors and latent faults, represented by the Domino and Organizational Accident Theories, respectively.

## 5 CONCLUSION

The work was conducted to address the following concerns: to what extent has the application of the Simplified Final Report (SFR) impacted CENIPA's capacity to produce final military aviation reports from January to September 2015? In order to answer this research problem and, therefore achieve its general objective, three guiding questions and three specific objectives were elaborated.

Initially documentary research and data collection met the first specific objective (SO1) of identifying the amount of military FR and SFR initiated in

each of the established periods. In the AA period 5 accidents, 8 serious incidents and 92 incidents/ground occurrences were recorded, making a total of 105 occurrences. In the AA period 5 accidents, 10 serious incidents and 101 incidents/ground occurrences were recorded, making a total of 116 occurrences. The data obtained were organized by classification of occurrence and presented a distribution consistent with what is advocated by Heinrich's Triangle theory. It was observed that the events of lesser severity were concentrated in the bases of the pyramids of Figures 5 and 6.

The CENIPA database documents were then consulted for the purpose of meeting the second specific objective (SO2), which is to identify the number of FR finalized in the AA period in the field of military aviation. The data obtained accounted for 26 FR finalized in the period.

By means of the documentary consultation to the same database previously mentioned, information was collected in order to meet the third specific objective (SO3) of identifying the amount of SFR finalized in the DA period, in the scope of military aviation. The numbers collected accounted for 97 SFR finalized in the period.

During the study, it was observed that after the application of SFR, the number of finalized investigation processes increased over the period prior to the change. To quantify this increase in the production capacity of final reports, the IIOM indicator was used, which sought the relation between the amount of FR/SFR initiated and the amount of FR/SFR finalized in each period of the research. The comparison between  $IIOM_{AA}$  and  $IIOM_{DA}$  showed an increase of 58,86% in the production capacity of final reports, after the application of the SFR.

The increase in production capacity was verified by the Chi-Square statistical test, which confirmed the statistical significance of the calculated value and the existence of a correlation between the number of reports completed by CENIPA and the application of the SFR in the scope of military aviation, for the significance level 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ).

This estimate has led to the general objective of this research, from which it can be concluded that the application of the SFR impacted the 58,86% increase in the production capacity of final military reports produced by CENIPA in the nine first months of 2015.

By producing a greater number of reports, the possibility of identifying contributing factors and latent failures is increased. In light of the theoretical reference, the contributing factors represent the

domino pieces, while the latent faults represent the holes in the slices of the Swiss cheese. The mitigating actions resulting from the final reports represent the removal of a piece from the sequence of dominoes and (or) the obstruction of the holes in the Swiss cheese slices, contributing to the prevention of future accidents.

Thus, the increase in the production capacity of final reports has a direct implication in the prevention of military aviation accidents. This evolution in the speed of the investigation process of the military aeronautical occurrences in the CENIPA implies significant difference in the current context of Brazilian Air Force, with economy of resources and maximization of results.

In addition, the results of this research can help the Aeronautics Command and CENIPA itself in the planning of staffing and distribution within the Center, reducing the consequences of staff turnover.

Finally, this research allows an analysis of the effects of the new adopted report (SFR) and ratifies its use in the investigation of military aeronautical occurrences.

Considering that only the quantitative analysis of the data was approached in this paper, it is suggested that other researches qualitatively investigate the impact of the application of SFR in the investigative processes conducted by CENIPA, in the scope of military aviation.

## REFERENCES

AMANCIO, D. B. **O impacto da adoção do Relatório Final Simplificado nos processos Investigativos de Acidentes Aeronáuticos realizados pelo Comando da Aeronáutica.**

2015. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais). Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica.

**Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 1986. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L7565.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7565.htm)>. Acesso em: 15 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Portaria nº 2230/GC3, de 23 de dezembro de 2013. Aprova a reedição da NSCA 3-6, que dispõe sobre a Investigação de Ocorrências Aeronáuticas com Aeronaves Militares. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n. 248, 30 dez. 2013.

\_\_\_\_\_. Portaria nº 166/GC3, de 12 de fevereiro de 2014. Aprova a reedição da NSCA 3-13, que dispõe sobre os Protocolos de Investigação de Ocorrências Aeronáuticas da

Aviação Civil conduzidas pelo Estado Brasileiro. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n. 34, 18 fev. 2014.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Annex 13, Aircraft Accident and Incident Investigation**. 10. ed. Montreal, 2010.

MENDONÇA, F. A. C. A ficha CENIPA 15 e as atividades de prevenção do risco aviário. **Revista Conexão SIPAER**, v. 2, n. 3, 2011.

REASON, J. T. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. Aldershot: Ashgate, 1997.

RYAN, T. **Estatística moderna para engenharia**. Campus: Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, R. **Guia Técnico de Ação Inicial de Investigação de Acidentes Aeronáuticos com Aeronaves de Asas Fixas de Acordo com Técnicas Recomendadas Internacionalmente**. 2012. 206 f. Dissertação (Mestrado em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada)—Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2012.

# El impacto de la adopción del Informe Final Simplificado (RFS) en los procesos investigativos de sucesos aeronáuticos de la aviación militar, conducidos por el CENIPA

*The impact of the application of the Simplified Final Report (SFR) on the investigative processes of aeronautical occurrences of military aviation carried out by CENIPA*

*O impacto da adoção do Relatório Final Simplificado (RFS) nos processos investigativos de ocorrências aeronáuticas da aviação militar, conduzidos pelo CENIPA*

Thiago Alexandre Lirio<sup>1</sup>

## RESUMEN

El Centro de Investigación y Prevención de Accidentes Aeronáuticos (CENIPA) ha adoptado medidas que aumenten la celeridad de los procesos de investigación de sucesos aeronáuticos. En este contexto, la presente investigación tuvo por objetivo verificar en qué medida la adopción del Informe Final Simplificado (RFS) impactó en la cantidad de informes finales militares producidos por el CENIPA, en los nueve primeros meses del año 2015. El foco del estudio residía en verificar si la capacidad de producción de informes finales, por el CENIPA había sufrido alteraciones después de la adopción del RFS para la investigación de ocurrencias militares. El análisis se basó en la correlación estadística entre dos períodos de igual duración, uno anterior y otro posterior a la adopción del RFS. Para cuantificar el impacto en la capacidad de producción de informes finales, se utilizó un indicador que relacionó la cantidad de informes iniciados y finalizados en cada período de la investigación. El indicador mostró un indicio de aumento del 58,86% en la capacidad de producción de informes finales, tras la adopción del RFS, en el ámbito de la aviación militar, de enero a septiembre de 2015. El aumento se confirmó mediante la prueba estadística de Chi-Cuadrado que confirmó la significación estadística de las variables y se

encontró una correlación entre el número de informes terminados por CENIPA y la adopción de RFS para el nivel de significación establecido en este estudio.

**Palabras clave:** Capacidad de producción. Informe final simplificado. Informe final. Aviación militar.

## ABSTRACT

*The Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center (CENIPA) has implemented measures to increase the speed of the investigation process of aeronautical occurrences. In this context, the present study aimed to verify the extent to which the application of the Simplified Final Report (RFS) impacted on the amount of final military reports produced by CENIPA in the first nine months of 2015. The focus of the study was to verify if the production capacity of final reports by CENIPA has changed after the application of the RFS for the investigation of military occurrences. The analysis was based on the statistical correlation between two periods of equal duration, one before and one after the application of the RFS. To quantify the impact on production capacity of final reports, an indicator that related the number of reports initiated and finalized in each period of the survey was applied. The indicator showed an increase of 58,86% in the production*

I. Centro de Investigación y Prevención de Accidentes Aeronáuticos (CENIPA) – Brasília/DF – Brasil. Mayor Aviador de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB). Email: thiagolirio@gmail.com

Recibido: 15/03/17

Aceptado: 12/04/18

*capacity of final reports after the application of the RFS SFR in the field of military aviation from January to September 2015. The increase was confirmed by the Chi-Square statistical test, which confirmed the statistical significance among the variables and detected a correlation between the number of reports completed by CENIPA and the application of the RFS, at the level of significance established in this research.*

**Keywords:** Production capacity. Simplified final report. Final report. Military aviation.

## RESUMO

*O Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) tem adotado medidas que aumentem a celeridade dos processos de investigação de ocorrências aeronáuticas. Nesse contexto, a presente pesquisa teve por objetivo verificar a medida em que a adoção do Relatório Final Simplificado (RFS) impactou na quantidade de relatórios finais militares produzidos pelo CENIPA, nos nove primeiros meses do ano de 2015. O foco do estudo residiu em verificar se a capacidade de produção de relatórios finais, pelo CENIPA se alterou após a adoção do RFS para a investigação de ocorrências militares. A análise se embasou na correlação estatística entre dois períodos de igual duração, um anterior e outro posterior à adoção do RFS. Para quantificar o impacto na capacidade de produção de relatórios finais, foi utilizado um indicador que relacionou a quantidade de relatórios iniciados e finalizados em cada período da pesquisa. O indicador demonstrou um indício de aumento de 58,86% na capacidade de produção de relatórios finais, após a adoção do RFS, no âmbito da aviação militar, de janeiro a setembro de 2015. O aumento foi comprovado por meio do exame estatístico Qui-Quadrado que confirmou a significância estatística entre as variáveis e detectou a existência de correlação entre a quantidade de relatórios finalizados pelo CENIPA e a adoção do RFS, para o nível de significância estabelecido nesta pesquisa.*

**Palavras-chave:** Capacidade de produção. Relatório final simplificado. Relatório final. Aviação militar.

---

## 1 CONTEXTUALIZACIÓN

Después de la Segunda Guerra Mundial, hubo la necesidad de reglamentar y normalizar las actividades de la aviación civil en el mundo, entre ellas las de investigación de accidentes e incidentes aeronáuticos. Esto ocurrió a través de la Convención de Aviación Civil Internacional, también conocida como Convención de Chicago, de la

cual Brasil es signatario. El tratado internacional, firmado en 1944, se encuentra en vigor hasta los días actuales. El documento estableció la creación de la *International Civil Aviation Organization*<sup>1</sup> (OACI - Organización de Aviación Civil Internacional) y a través de 19 anexos de la Convención, estableció normas y prácticas recomendadas para la aviación (SOUZA, 2012).

En Brasil, la Ley n° 7.565/1986 que dispone sobre el Código Brasileño de Aeronáutica, en su Artículo 86, versa que,

Compete al Sistema de Investigación y Prevención de Accidentes Aeronáuticos (SIPAER) planificar, orientar, coordinar, controlar y ejecutar las actividades de investigación y de prevención de Accidentes Aeronáuticos. (BRASIL, 1986, p. 12).

El SIPAER tiene como órgano central el Centro de Investigación y Prevención de Accidentes Aeronáuticos (CENIPA), que es responsable por conducir esas actividades, en los moldes de la ley arriba citada.

La investigación SIPAER tiene por único objetivo evitar el acontecimiento de ocurrencias aeronáuticas análogas en el futuro, por medio de la identificación de los factores contribuyentes y de la emisión de recomendaciones de seguridad, las cuales posibiliten eliminar o mitigar esos factores. A la luz del SIPAER, las ocurrencias aeronáuticas militares se clasifican en cuatro categorías: accidente aeronáutico, incidente aeronáutico grave, incidente aeronáutico y ocurrencia de suelo (BRASIL, 2013).

El documento donde se concluye la investigación y se divulga las enseñanzas extraídas de una ocurrencia aeronáutica es el informe final, y su concepto está especificado en el SIPAER.

Documento formal, destinado a divulgar la conclusión oficial del SIPAER, fundamentado en los elementos de investigación, en el análisis, en la conclusión y en las recomendaciones de seguridad relativas a un accidente aeronáutico, incidente aeronáutico grave, incidente aeronáutico o ocurrencia de suelo, con el objetivo exclusivamente de prevención de nuevas ocurrencias. (BRASIL, 2014, p. 13).

Los 19 Anexos a la Convención de Chicago se dividen por temas específicos de áreas distintas de la aviación. Los asuntos relacionados con la investigación de accidentes e incidentes aeronáuticos están dispuestos en el Anexo 13 de la Convención de Aviación Civil Internacional de 1944. El punto 6.5 de dicho documento establece que, en interés de la prevención, el Estado, al conducir una investigación de accidente o incidente, debe publicar un informe final en el menor tiempo posible y, si es posible, dentro de un período de doce meses (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION

<sup>1</sup> Organización con 191 países miembros que tiene como objetivo desarrollar normas y métodos recomendados para la aviación civil internacional.

ORGANIZATION, 2010, traducción nuestra). Este pasaje destaca la relevancia que la Organización atribuye al factor tiempo para la prevención de accidentes. Brasil también reconoce el factor tiempo como fundamental para la prevención de futuras ocurrencias y, por ese motivo, el CENIPA tomó actitudes para hacer el proceso de investigación más veloz y eficiente.

En este contexto, en 2013, se creó el Informe Final Simplificado (RFS) en el ámbito de la aviación civil. El RFS es una versión simplificada del Informe Final (RF), que permite una investigación más rápida y compatible con la complejidad de las ocurrencias en las que se aplica. Los frutos generados por esa iniciativa fueron comprobados por Amancio (2015), el cual concluyó en su investigación que la adopción del RFS aceleró en más de 4 veces el tiempo de procesamiento de las investigaciones de la aviación civil brasileña.

Es importante resaltar que el RFS fue una herramienta creada para ser aplicada en casos específicos, de menor complejidad, y que el RF no dejó de existir. Ambos modelos de informe final (RF y RFS) presentan en su contenido factores contribuyentes y recomendaciones de seguridad y representan, por lo tanto, la conclusión oficial del SIPAER para una determinada investigación.

La investigación de accidentes aéreos en Brasil posee característica peculiar por reunir en la misma organización, el CENIPA, las actividades relacionadas a las aviaciones civil y militar. Esta condición posibilita que los conocimientos adquiridos en el ejercicio de las investigaciones de la aviación civil se apliquen a las actividades de prevención e investigación de la aviación militar y viceversa.

Con base en la experiencia vivida en 2013, en la aviación civil, el CENIPA decidió adoptar, a partir del 1 de enero de 2015, el RFS también para la aviación militar. Este informe simplificado se aplica a los incidentes graves, incidentes y ocurrencias de suelo, y sigue un razonamiento análogo al utilizado cuando la herramienta se introdujo en el contexto de la aviación civil. Para las ocurrencias clasificadas como accidentes, el RF sigue siendo el modelo de informe aplicado.

Las diferencias entre RF y RFS no se restringen al formato del informe, ya que además de la estructura del documento, también se ha simplificado el proceso de investigación de los sucesos. Mientras que un accidente investigado a través de RF recorre, obligatoriamente, tres etapas hasta que su investigación se considere concluida, los incidentes menores, investigados por medio de RFS, recorren sólo dos etapas. De esta forma, el proceso gana en velocidad y eficiencia.

El tiempo empleado para la producción de un informe final (sea RF o RFS) tiene importancia destacada

en el contexto de la prevención de accidentes, pues la publicación de estos informes es una de las principales maneras utilizadas por CENIPA para actuar directamente con los actores de la aviación militar. Se puede inferir, por lo tanto, que cuanto más rápido sea el proceso de investigación, más rápidamente las enseñanzas en ella adquiridas serán divulgadas y más brevemente se concluirá el ciclo de la investigación (AMANCIO, 2015).

La celeridad de las investigaciones militares está directamente relacionada con la capacidad de producción de la Subdivisión de Investigación (SDINV) del CENIPA. En el alcance de este documento, el término **capacidad de producción** significa la cantidad de informes finales que el CENIPA puede producir en un período de tiempo dado.

Hasta el momento, no se realizó ninguna evaluación en relación al impacto que la adopción del RFS representó en la capacidad que el CENIPA posee de producir informes finales, en el ámbito de la aviación militar. Al actuar directamente en la conducción de procesos de investigación de éste Centro, se elaboró el siguiente cuestionamiento y corresponde al objetivo general de este trabajo: ¿en qué medida la adopción del Informe Final Simplificado (RFS) impactó en la capacidad de producción de informes finales de la aviación militar por el CENIPA, de enero a septiembre de 2015?

Para la recolección y análisis de los datos se consideraron dos períodos distintos, como se describe a continuación:

- a) Antes de la adopción (AA) - del 1 de enero al 30 de septiembre de 2014; y
- b) Después de la adopción (DA) - del 1 de enero al 30 de septiembre de 2015.

Con el fin de alcanzar el objetivo general, se elaboraron tres cuestiones orientadoras:

CN1: ¿Cuál fue la cantidad de RF y RFS militares iniciados en los períodos AA y DA, respectivamente?

CN2: ¿Cuántos RF fueron finalizados en el período AA, en el ámbito de la aviación militar?

CN3: ¿Cuántos RFS fueron finalizados en el período DA, en el ámbito de la aviación militar?

La resolución de estas cuestiones tiene por objeto alcanzar los objetivos específicos siguientes:

OE1: Identificar la cantidad de RF y RFS militares iniciados en cada uno de los períodos establecidos.

OE2: Identificar la cantidad de RF finalizados en el período AA, en el ámbito de la aviación militar.

OE3: Identificar la cantidad de RFS finalizados en el período DA, en el ámbito de la aviación militar.

La importancia de este trabajo reside en verificar cuantitativamente si hubo evolución en la celeridad del proceso de investigación de las ocurrencias aeronáuticas militares brasileñas, después de la adopción del RFS.

Esta evolución es significativa en el contexto actual de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB) y del Estado brasileño en lo que se refiere a la economía de recursos y maximización de los resultados en entidades gubernamentales. Aliado a ello, hay una alta rotación de militares del CENIPA y, cada vez que ocurre una sustitución de personal, el sustituto lleva un tiempo significativo para entender el proceso. Un modelo que es más rápido y eficiente sufre menos con las consecuencias de la rotación de investigadores.

El CENIPA tiene una demanda de investigación mayor en la aviación civil que en la militar, pero necesita tener la misma intensidad en los dos segmentos para que los niveles de seguridad permanezcan equivalentes. Así, cuanto más parecidos sean los procesos, más uniformes serán los resultados.

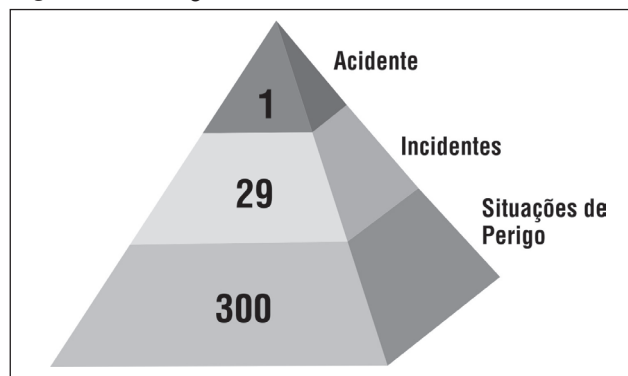
Por último, los resultados de esta investigación pueden ayudar al Comando de la Aeronáutica (COMAER) y al propio CENIPA en la planificación de la dotación de personal y su distribución dentro del Centro, además de permitir un análisis de los efectos del nuevo informe adoptado (RFS) y ratificar su utilización en el ámbito de la investigación de sucesos aeronáuticos militares.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Teoría del Triángulo de Heinrich

En la década de cincuenta, Heinrich y Granniss desarrollaron una teoría que se conoció mundialmente como Triángulo de Heinrich, Figura 1. En ese estudio, los investigadores analizaron miles de ocurrencias y concluyeron que, para cada accidente con lesiones o muertes, ocurren cientos de otros eventos similares de menor gravedad, sin heridos o víctimas fatales. El enfoque de esta teoría es que los eventos de menor complejidad pueden y deben ser identificados y controlados antes de evolucionar hacia eventos más graves que generen lesiones, fatalidades o pérdidas materiales (MENDONÇA, 2011).

Figura 1 – Triángulo de Heinrich.



Fuente: Adaptado de Mendonça (2011).

Otras teorías establecen razones diferentes entre accidentes, incidentes y situaciones de peligro, pero también describen que estas ocurrencias tienen motivos análogos, diferenciándose sólo por las consecuencias que generan. La mayor contribución de estas teorías es que los casos menos graves (situaciones de peligro e incidentes) son considerados precursores de los accidentes y deben ser investigados (MENDONÇA, 2011).

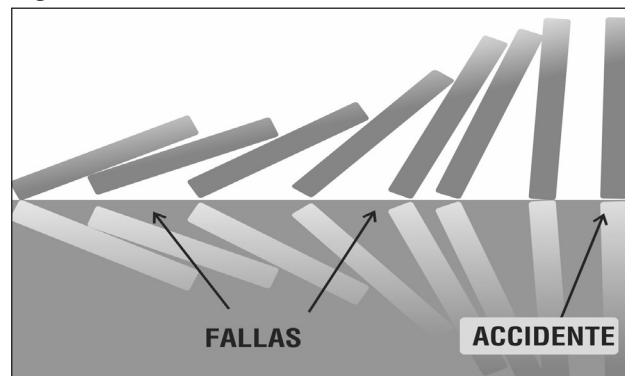
La teoría del Triángulo de Heinrich apoya los estudios de este trabajo, pues resalta que los eventos de la base de la pirámide, cuando se investigan adecuada y oportunamente, se mitigan antes que se conviertan en eventos con consecuencias más graves. En el caso de las ocurrencias aeronáuticas militares, la base de la pirámide está formada por ocurrencias de suelo, incidentes e incidentes graves. Al mejorar la eficiencia del proceso de investigación de estos eventos, el CENIPA está actuando directamente en la prevención de los accidentes, ubicados en la parte superior de la pirámide.

Con base en la teoría presentada, fue posible analizar el comportamiento de la distribución de las ocurrencias militares en los períodos AA y DA, que será explorado en el ítem 4 (Análisis) de este trabajo.

### 2.2 Teoría del dominó

La teoría del dominó (Figura 2), también desarrollada por Heinrich, defiende la idea de que un accidente es el resultado de una cadena de eventos que ocurre en secuencia lógica. Estos eventos pueden ser representados como si fueran piezas de dominós en fila una tras otra. La caída de una de las piezas de dominó significa la ocurrencia de una falla, que llevará a la caída de una segunda pieza (otra falla) y, de esta forma, fallas sucesivas van sucediendo hasta que todas las piezas hayan sido derribadas, haciendo el accidente inevitable (MENDONÇA, 2011).

Figura 2 – Teoría del Dominó.



Fuente: Adaptado de Mendonça (2011).

El principal concepto ligado a esta teoría es el de que, retirándose una pieza de la secuencia de dominós, el accidente será evitado (HEINRICH; GRANNIS, 1959 apud MENDONÇA, 2011).

La relación entre esta teoría y el presente trabajo se evidencia en el hecho de que la pieza a ser retirada puede haber sido identificada durante la investigación de una ocurrencia anterior, ya sea un accidente, un incidente o una ocurrencia de suelo. Al aumentar la producción de informes finales, consecuentemente se aumenta la posibilidad de identificar factores contribuyentes (piezas de dominó) que llevarán a la adopción de acciones mitigadoras. Estas acciones mitigadoras representan la retirada de una pieza de la secuencia de dominós y la consiguiente interrupción de la cadena de eventos, ayudando a prevenir futuros accidentes.

### 2.3 Teoría de los accidentes organizacionales

James Reason, renombrado investigador en el área del error humano, presentó en 1997 el modelo del Queso Suizo para accidentes organizacionales (Figura 3). La teoría de Reason (1997) apunta que sistemas complejos están protegidos por múltiples barreras de defensa para impedir que las situaciones de riesgo evolucionen hacia un accidente. Sin embargo, esas barreras tienen debilidades que, cuando se manifiestan en fallas latentes, pueden permitir la ocurrencia de un evento catastrófico. En esta teoría, las barreras son como rebanadas de un queso suizo, y sus debilidades son representadas por los agujeros del queso en las rebanadas. A la luz de la teoría presentada, esas condiciones se desprenden de la complejidad de la ocurrencia, de modo que las ocurrencias simples tienen condiciones latentes tanto como ocurrencias más complejas (REASON, 1997).

La teoría del Queso Suizo fue ampliamente aceptada en la comunidad aeronáutica y es, hasta los días actuales, utilizada para auxiliar en la investigación de accidentes aéreos por todo el mundo. La conexión entre esta

investigación y la teoría de Reason consiste en identificar fallas latentes durante la investigación de ocurrencias. La ampliación de la posibilidad de identificación de fallas latentes es una consecuencia directa del aumento de la capacidad de producción de informes finales. Las acciones mitigadoras de estas fallas en las barreras de defensa representan la obstrucción de los agujeros de las rebanadas de queso (barreras), contribuyendo a la prevención de futuros accidentes.

### 3 METODOLOGÍA

Atendiendo al objetivo general y, según lo preconizado por Gil (2002), esta investigación se clasificó como descriptiva, pues estableció la relación entre la adopción del RFS y la capacidad de producción de informes de investigación por parte del CENIPA, en los dos períodos especificados en este trabajo.

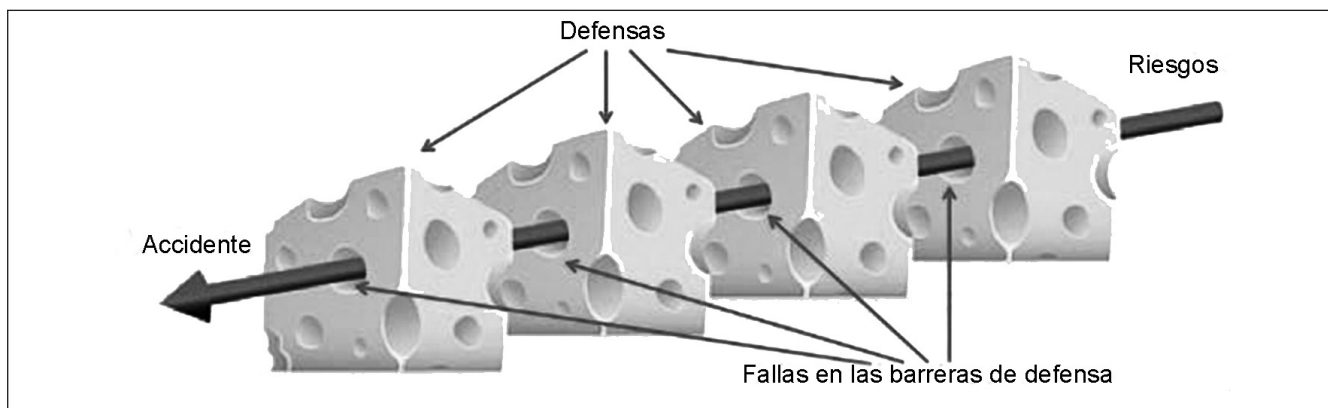
Con el objetivo de introducir el tema, se realizó una revisión de literatura de las principales teorías acerca de las causas de accidentes e incidentes en sistemas complejos, relacionando esas teorías con las actividades desarrolladas por CENIPA, en el ámbito de la investigación de ocurrencias aeronáuticas militares.

En cuanto a los procedimientos técnicos, el delineamiento de la investigación fue clasificado como documental, según Gil (2002), por recolectar datos en las bases estadísticas de ocurrencias aeronáuticas militares y en los registros de producción de informes finales de la Subdivisión de Investigación (SDINV) de la División Operativa (DOP) del CENIPA.

Para que los resultados fueran proporcionales y posibilitasen un análisis uniforme, fueron considerados dos intervalos de tiempo iguales, uno anterior y otro posterior a la adopción del RFS.

a) Antes de la adopción (AA) - del 1 de enero al 30 de septiembre de 2014; y

**Figura 3** – Teoría del Queso Suizo.



**Fuente:** Adaptado de Reason (1997).



b) Después de la adopción (DA) - del 1 de enero al 30 de septiembre de 2015.

Esta investigación fue conducida durante el año 2015, año coincidente con el período DA. Por este motivo, los períodos considerados para recolección de datos y análisis se extendieron hasta el 30 de septiembre en ambos ciclos, siendo esta una limitación del trabajo.

De todo el universo de investigaciones conducidas en el ámbito de la aviación militar, la muestra de este trabajo corresponde a los 105 (ciento y cinco) RF iniciados y 26 (veintiséis) RF finalizados en el período AA; y los 116 (ciento dieciséis) RFS iniciados y 97 (noventa y siete) RFS finalizados en el período DA.

La investigación realizada en la base de datos del CENIPA permitió identificar el cuantitativo de procesos de RF y RFS militares iniciados en los dos períodos. Estas informaciones condujeron a la respuesta de la primera cuestión orientadora y, consecuentemente, al alcance del primer objetivo específico. Los datos obtenidos fueron organizados por tipo de clasificación de ocurrencias (accidente, incidente grave, incidente y ocurrencia de suelo) a fin de averiguar el comportamiento de éstas en relación a su distribución.

Con el fin de responder a las cuestiones segunda y tercera, se verificó el cuantitativo de RF y RFS finalizados en los períodos AA y DA, respectivamente. Al término del levantamiento de datos, los números obtenidos llevaron a la respuesta de las cuestiones orientadoras 2 y 3 y, en consecuencia, al alcance del segundo y del tercer objetivo específico. Con los datos conocidos, se llevó a cabo un análisis exploratorio del escenario, comparando la capacidad de producción en cada uno de los períodos establecidos. Para cuantificar los datos, un indicador llamado Militar Acontecimientos Índice de Investigación se utilizó (IIOM) conjunto, de acuerdo con la Ecuación 1.

$$IIOM = \left( \frac{\sum x_i}{\sum y_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde,

IIOM = Índice de Investigación de Ocurrencias Militares;

$\sum x_i$  = cantidad de informes finales completados en cada período; y

$\sum y_i$  = cantidad de informes finales iniciados en cada período.

El IIOM relaciona la cantidad de RF/RFS iniciados con la cantidad de RF/RFS completados en cada período. La Ecuación 1 se utilizó para determinar el  $IIOM_{AA}$  e  $IIOM_{DA}$ . El análisis de la diferencia entre los valores fue realizado, conforme Ecuación 2.

$$\Delta IIOM = IIOM_{DA} - IIOM_{AA} \quad (2)$$

El resultado de la Ecuación 2 demostró porcentualmente un indicio de dependencia entre la adopción del RFS y la

capacidad de producción del CENIPA. Sin embargo, fue necesario probar esta hipótesis para concluir si este indicio era estadísticamente significativo. Para esto, se realizó la prueba estadística Chi-Cuadrado ( $X^2$ ), que se detalla a continuación.

### 3.1 Prueba Chi-Cuadrado ( $X^2$ )

A los datos obtenidos se aplicó la prueba estadística Chi-Cuadrado ( $X^2$ ), conforme Ryan (2009). De acuerdo con el autor, la prueba  $X^2$  es aplicable cuando los datos se presentan en forma de frecuencia. La aplicación de la prueba tiene por finalidad detectar significancia estadística de la diferencia entre dos o más grupos independientes, es decir, probar la independencia entre dos o más variables.

Para la aplicación de la prueba, es necesario validar los siguientes requisitos en el conjunto de datos:

- a) nivel de medición a escala nominal;
- b) en las tablas 2x2, las frecuencias esperadas deben ser mayor de 5; y
- c) los grupos comparados deben ser independientes.

La prueba fue realizada considerando dos hipótesis, son ellas:

$\lambda_0$  : las variables son independientes; y

$\lambda_1$  : las variables no son independientes, es decir, el comportamiento de una interfiere en la otra.

La hipótesis nula ( $\lambda_0$ ) fue probada utilizándose la Ecuación 3.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (3)$$

Donde,

$k$  = número de grupos;

$O$  = frecuencia observada; y

$E$  = frecuencia esperada.

El cálculo para encontrar las frecuencias esperadas es dado por la regla, según Ecuación 4.

$$E_{ij} = \frac{\sum \text{línea } i \times \sum \text{columnas } j}{\text{sumatotal}} \quad (4)$$

Los grados de libertad se definen por la Ecuación 5.

$$gl = (\text{cantidad de líneas} - 1) \times (\text{cantidad de columnas} - 1) \quad (5)$$

#### 3.1.1 Aplicación de la prueba $X^2$

Primero fueron extraídos los datos por medio de las respuestas de las tres cuestiones orientadoras. Los resultados obtenidos corresponden a las frecuencias observadas, conforme la Tabla 1.

**Tabla 1** – Tabla de las frecuencias observadas.

Período	RF/RFS iniciados	RF/RFS finalizados
AA	$O_{11}$	$O_{12}$
DA	$O_{21}$	$O_{22}$

**Fuente:** El autor.

Tras el conocimiento de los valores de las frecuencias observadas ( $O_{11}$ ,  $O_{12}$ ,  $O_{21}$  e  $O_{22}$ ), se han establecido las sumas de las líneas y las columnas de la tabla, necesarias para la aplicación de las ecuaciones 6 a 9.

$$\sum \text{línea 1} = O_{11} + O_{12} \quad (6)$$

$$\sum \text{línea 2} = O_{21} + O_{22} \quad (7)$$

$$\sum \text{columna 1} = O_{11} + O_{21} \quad (8)$$

$$\sum \text{columna 2} = O_{12} + O_{22} \quad (9)$$

Las sumas encontradas pueden ser dispuestas, según la Tabla 2.

**Tabla 2** – Frecuencia observada con sumas totales.

Período	Capacidad de Producción		
	RF/RFS iniciados	RF/RFS finalizados	Totales
AA	$O_{11}$	$O_{12}$	$\sum \text{línea 1}$
DA	$O_{21}$	$O_{22}$	$\sum \text{línea 2}$
Totales	$\sum \text{columna 1}$	$\sum \text{columna 2}$	<i>Suma total</i>

**Fuente:** El autor.

A partir de las ecuaciones 6 a 9, se obtienen las frecuencias esperadas  $E_{11}$ ,  $E_{12}$ ,  $E_{21}$  y  $E_{22}$ , como Ecuaciones 10 a 11.

$$E_{11} = \frac{\sum \text{línea 1} \times \sum \text{columna 1}}{\text{sumatotal}} \quad (10)$$

$$E_{12} = \frac{\sum \text{línea 1} \times \sum \text{columna 2}}{\text{sumatotal}} \quad (11)$$

$$E_{21} = \frac{\sum \text{línea 2} \times \sum \text{columna 1}}{\text{sumatotal}} \quad (12)$$

$$E_{22} = \frac{\sum \text{línea 2} \times \sum \text{columna 2}}{\text{sumatotal}} \quad (13)$$

Una vez conocidas las frecuencias esperadas, los datos se validan de acuerdo con los requisitos **a**, **b** y **c** de la prueba, dispuestos en el punto 3.1.

Por último, después de la recolección y validación de todos los datos, fue posible llevar a cabo el cálculo de la estadística de prueba  $X^2$ , así como los grados de libertad de la estadística aplicada. El valor de  $X^2$  se calculó en comparación con el valor crítico de  $X^2$  tabulado (Figura 4), considerando el nivel de significancia de 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ). La comparación de los valores  $X^2$  sigue los criterios indicados en las Ecuaciones 14 y 15.

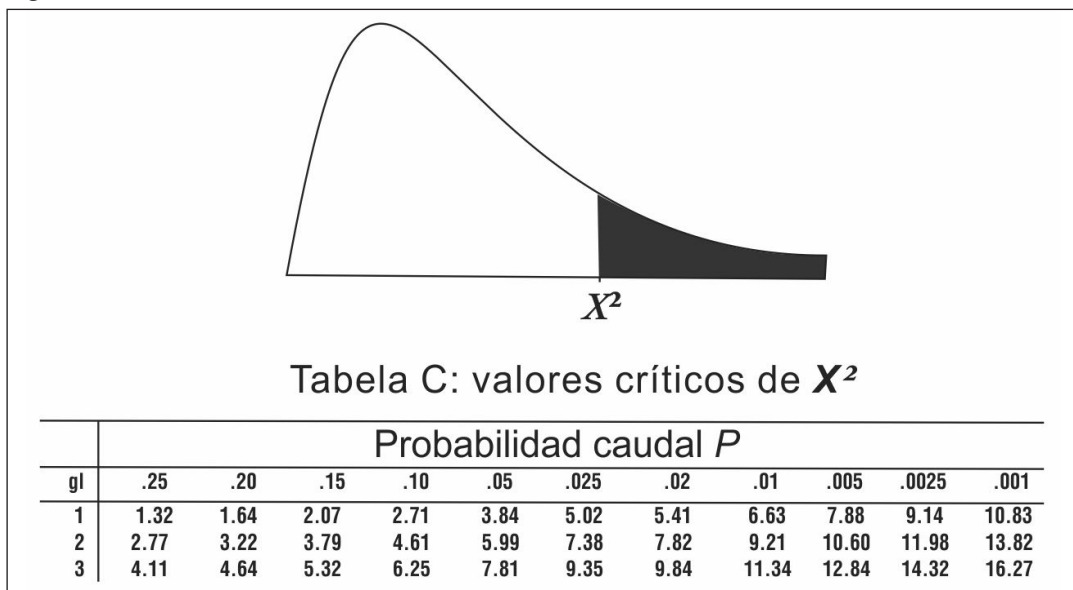
$$X^2 \text{ calculado} > X^2 \text{ tabulado} = \lambda_0; \text{ rechazada} \quad (14)$$

$$X^2 \text{ calculado} < X^2 \text{ tabulado} = \lambda_0; \text{ verdadera} \quad (15)$$

El rechazo de una hipótesis válida a otra hipótesis con un grado de confiabilidad del 95%, ya que el nivel de significancia establecido para la prueba fue el de 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ).

La comparación entre el valor de  $X^2 \text{ calculado}$  y el valor de  $X^2 \text{ tabulado}$  apoyó el análisis y la comprensión del resultado obtenido, aclarando el objetivo general de este trabajo y respondiendo así al problema de investigación.

**Figura 4** – Valores críticos de  $X^2$ .

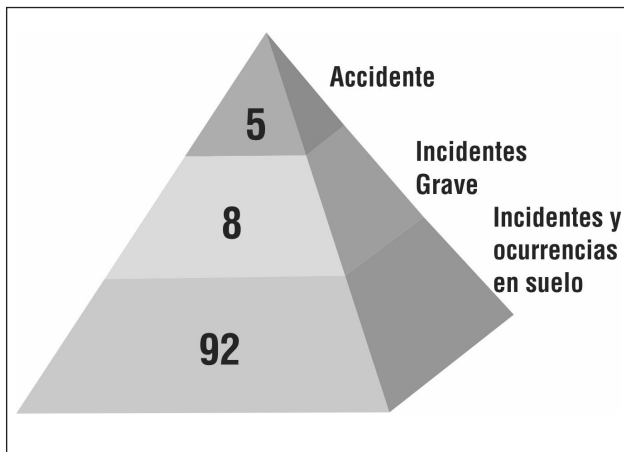


**Fuente:** Adaptado de Ryan (2009, traducción nuestra).

#### 4 ANÁLISIS

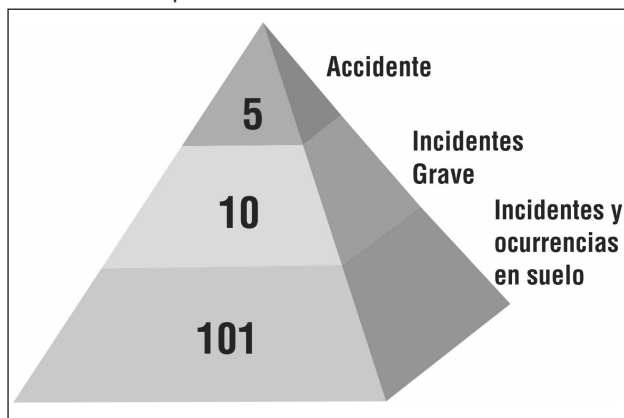
Con el fin de investigar el problema propuesto, se realizó el análisis e interpretación de los datos, con base en el referencial teórico y en la metodología presentados. Inicialmente se llevó a cabo un análisis directo de la distribución de las ocurrencias aeronáuticas militares, en cuanto a su clasificación, en los períodos AA y DA. Aunque la razón entre las ocurrencias no ha sido exactamente como la teoría del triángulo de Heinrich describe en el referencial teórico, la distribución en forma de pirámide pudo ser observada, conforme a las Figuras 5 y 6 a continuación.

**Figura 5** – Distribución de ocurrencias de la aviación militar, clasificadas en período de AA.



Fuente: Adaptado de MENDONÇA (2011).

**Figura 6** – Distribución de ocurrencias de la aviación militar, clasificadas en período de DA.



Fuente: Adaptado de MENDONÇA (2011).

La distribución presentada corrobora el referencial teórico. El aumento de la capacidad de producción de informes finales de las ocurrencias

localizadas en la base del triángulo posibilita la determinación de una cantidad mayor de factores contribuyentes y fallas latentes, representados por los dominós y agujeros en las rebanadas de queso de las teorías discutidas anteriormente.

El paso siguiente consistió en la realización de un análisis exploratorio de la capacidad de producción de RF y RFS, por período, como se muestra en la Figura 7. En el análisis de dicha figura, se percibe que la diferencia entre el número de RF/RFS iniciados y el número de RF/RFS finalizados es menor en el período DA, en comparación con el período AA.

Si la diferencia entre procesos iniciados y procesos finalizados es baja, se puede concluir que la productividad es alta y que el CENIPA es capaz de absorber la demanda de trabajo. En cambio, si esta diferencia es elevada, se puede concluir que la productividad es pequeña y, consecuentemente, que CENIPA no es capaz de absorber la demanda de trabajo que se impone al Centro. Es importante resaltar que, en ambos períodos, la cantidad de investigadores involucrados en el proceso de elaboración de informes fue la misma.

Con el fin de estimar la capacidad de los informes finales, se utilizó el indicador *IIOM* en cada período.

Mediante la aplicación de los valores de la Figura 7, en la Ecuación 1, se obtuvieron los siguientes *IIOM* para cada período:

$$IIOM_{AA} = \left( \frac{26}{105} \right) \times 100 = 24,76\%; \text{ y}$$

$$IIOM_{DA} = \left( \frac{97}{116} \right) \times 100 = 83,62\%$$

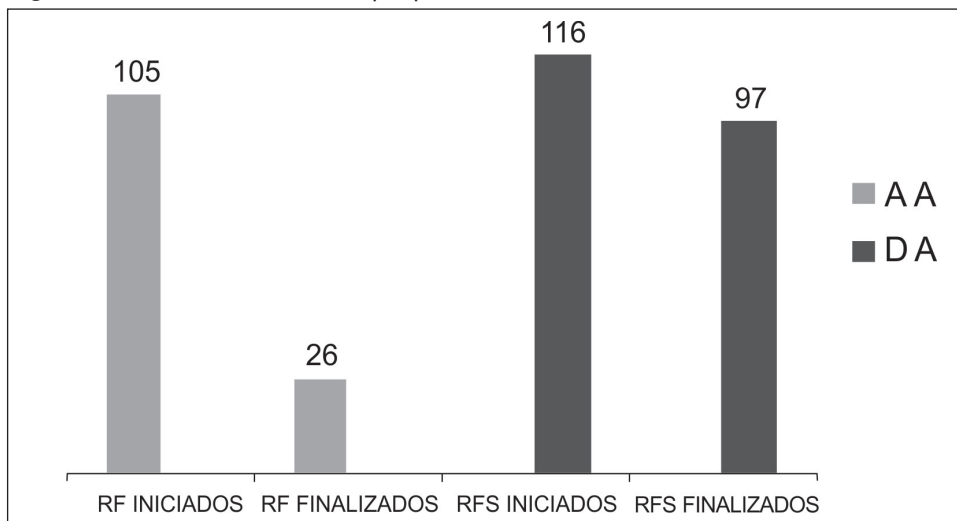
Para comprobar la variación de *IIOM*, se utilizó la Ecuación 2.

$$\Delta IIOM = 83,62\% - 24,76\%$$

$$\Delta IIOM = 58,86\%$$

El comportamiento encontrado en el análisis de la variación *IIOM* revela un indicio de aumento en la capacidad de producción en el período DA en un 58,86%. Sin embargo, fue necesario probar esta hipótesis para concluir si este indicio era estadísticamente significativo. La prueba seleccionada para esta verificación fue la prueba estadística Chi-Cuadrado.

Figura 7 – Productividad RF/RFS por período.



Fuente: El autor.

Para la aplicación de la prueba, se utilizaron los datos obtenidos por medio de las respuestas a las preguntas orientadoras. De esta forma, las Tablas 1 y 2, con los valores reales calculados, dieron origen a la Tabla 3, que contiene las frecuencias observadas y los sumatorios de líneas y columnas.

Tabla 3 – Los valores reales de frecuencias observadas y sumas de líneas y columnas.

Período	Capacidad de Producción		
	RF/RFS iniciados	RF/RFS finalizados	Totales
AA	105	26	131
DA	116	97	213
Totales	221	123	344

Fuente: El autor.

Las hipótesis de dependencia entre el RFS y la capacidad de producción de informes finales se formuló de la siguiente manera:

- $\lambda_0$ : la capacidad de producción de informes finales no ha cambiado con la adopción de RFS; y
- $\lambda_1$ : la capacidad de producción de informes finales ha aumentado tras la adopción de RFS.

Para la realización de la prueba, fue necesario conocer las frecuencias esperadas, las cuales fueron obtenidas por intermedio de las ecuaciones 10, 11, 12 y 13.

$$E_{11} = \frac{131 \times 221}{344} = 84,15$$

$$E_{12} = \frac{131 \times 123}{344} = 46,84$$

$$E_{21} = \frac{213 \times 221}{344} = 136,84$$

$$E_{22} = \frac{213 \times 123}{344} = 76,15$$

Una vez conocidas las frecuencias observadas, las frecuencias esperadas y las sumas de líneas y columnas, los datos fueron validados, conforme los requisitos de la prueba, dispuestos en el ítem 3.1. Así, se tiene que:

- el requisito **a** se ha cumplido, pues los datos son cuantitativos discretos;
- el requisito **b** también se ha cumplido, una vez que todos los valores de frecuencia esperada son mayores que 5; y
- el requisito **c** se ha cumplido, por lo que los datos son independientes, es decir, los datos recogidos en período de AA no afectan a los datos recogidos en el periodo DA.

Basado en lo que preconiza Ryan (2009), fue posible calcular el valor de  $X^2$ :

$$X^2 = \frac{(O_{11} - E_{11})^2}{E_{11}} + \frac{(O_{12} - E_{12})^2}{E_{12}} + \frac{(O_{21} - E_{21})^2}{E_{21}} + \frac{(O_{22} - E_{22})^2}{E_{22}}$$

$$X^2 = \frac{(105 - 84,15)^2}{84,15} + \frac{(26 - 46,84)^2}{46,84} + \frac{(116 - 136,84)^2}{136,84} + \frac{(97 - 76,15)^2}{76,15}$$

$$X^2 = 5,17 + 9,27 + 3,17 + 5,71$$

$$X^2 = 23,32$$

Tras el cálculo del  $X^2$ , se calculó la cantidad de grados de libertad de la estadística por medio de la Ecuación 5.

$$gl = \frac{(cantidad\ de\ líneas - 1) \times (cantidad\ de\ columnas - 1)}{(2 - 1) \cdot (2 - 1)}$$

$$gl = 1$$

En la Figura 4 de valores críticos de  $X^2$ , para un grado de libertad ( $gl = 1$ ) y nivel de significación de 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ), el valor crítico de  $X^2$  encontrado fue el 3,84.

En comparación con el valor calculado con el valor tabulado, se tiene que:

$$valor\ calculado\ (23,32) > valor\ tabelado\ (3,84)$$

De esta manera, fue posible rechazar la hipótesis nula  $\lambda_0$  y validar la hipótesis alternativa  $\lambda_1$ , de acuerdo con la Ecuación 14 con el grado de fiabilidad del 95%.

Por lo tanto, a partir de las informaciones presentadas y del resultado de la prueba aplicada, se puede concluir estadísticamente que la capacidad del CENIPA en producir informes finales en el ámbito de la aviación militar aumentó después de la adopción del RFS, confirmando el indicio observado en el análisis de la Figura 7.

Con esta constatación, se puede verificar que la adopción del RFS impactó en el aumento en el 58,86% de la capacidad de producción de informes finales militares producidos por el CENIPA, en los nueve primeros meses del año 2015.

Se puede, por lo tanto, afirmar que el CENIPA aumentó su capacidad de actuación en las ocurrencias que constituyen la base del Triángulo de Heinrich y amplió las posibilidades de identificación de factores contribuyentes y fallas latentes, representados por las teorías del Dominó y del Accidente Organizacional, respectivamente.

## 5 CONCLUSIÓN

El trabajo se llevó a cabo con el objetivo de subsanar la siguiente inquietud: ¿en qué medida la adopción del Informe Final Simplificado (RFS) impactó en la capacidad de producción de informes finales de la aviación militar por el CENIPA, de enero a septiembre de 2015? Con el fin de responder al referido problema de investigación y, así, alcanzar su objetivo general, se elaboraron tres cuestiones orientadoras y tres objetivos específicos.

Inicialmente la investigación documental y la recolección de datos atendieron al primer objetivo específico (OE1)

de identificar la cantidad de RF y RFS militares iniciados en cada uno de los períodos establecidos. En el período AA se contabilizaron 5 accidentes, 8 incidentes graves y 92 incidentes/ocurrencias de suelo, con un total de 105 ocurrencias. En el período DA se registraron 5 accidentes, 10 incidentes graves y 101 incidentes/ocurrencias de suelo, totalizando un total de 116 ocurrencias. Los datos obtenidos fueron organizados por clasificación de ocurrencia y presentaron distribución de acuerdo con lo que preconiza la teoría del Triángulo de Heinrich. Se observó que los eventos de menor gravedad se concentraron en las bases de las pirámides de las Figuras 5 y 6.

A continuación, los documentos de la base de datos del CENIPA fueron consultados con el fin de atender al segundo objetivo específico (OE2) que es identificar la cantidad de RF finalizados en el período AA, en el ámbito de la aviación militar. Los datos obtenidos contabilizaron 26 RF finalizados en el período.

Por medio de la consulta documental a la misma base de datos citada anteriormente, se recolectó información para atender al tercer objetivo específico (OE3) de identificar la cantidad de RFS finalizados en el período DA, en el ámbito de la aviación militar. Los números recogidos contabilizaron 97 RFS finalizados en el período.

Se observó, durante el estudio que, después de la adopción del RFS, el número de procesos de investigación finalizados aumentó en relación al período anterior al cambio. Para cuantificar ese aumento en la capacidad de producción de informes finales, se utilizó un indicador IIOM, que relacionó la cantidad de RF/RFS iniciados con la cantidad de RF/RFS finalizados en cada período de la investigación. La comparación entre el  $IIOM_{AA}$  e  $IIOM_{DA}$  ha demostrado un indicio de aumento de 58,86% en la capacidad de producción de informes finales, tras la adopción del RFS.

El aumento en la capacidad de producción se confirmó mediante la prueba estadística de Chi-Cuadrado que confirmó la significación estadística de las variables y la existencia de una correlación entre el número de informes terminados por CENIPA y la adopción de RFS para el nivel de significación establecido 0,05 ( $\alpha = 5\%$ ).

Esta estimación condujo a la consecución del objetivo general de esta investigación, a partir del cual se concluye que la adopción del RFS impactó en el aumento en 58,86% de la capacidad de producción de informes finales militares producidos por el CENIPA, en los nueve primeros meses del año 2015.

Al producirse un número mayor de informes, se amplía la posibilidad de identificar factores contribuyentes y fallas latentes. A la luz del referencial

teórico, los factores contribuyentes representan las piezas de dominó, mientras que las fallas latentes representan los agujeros de las rebanadas del queso suizo. Las acciones mitigadoras derivadas de los informes finales representan la retirada de una pieza de la secuencia de dominós y (o) la obstrucción de los agujeros de las rebanadas del queso suizo, contribuyendo a la prevención de futuros accidentes.

De esta forma, el aumento de la capacidad de producción de informes finales tiene implicación directa en la prevención de accidentes de la aviación militar. Esta evolución en la celeridad del proceso de investigación de las ocurrencias aeronáuticas militares en el CENIPA implica una diferencia significativa en el contexto actual de la Fuerza Aérea Brasileña, con ahorro de recursos y maximización de resultados.

Además, los resultados de esta investigación pueden ayudar al Comando de la Aeronáutica y al propio CENIPA en la planificación de la dotación de personal y de su distribución dentro del Centro, disminuyendo las consecuencias de la rotación de personal.

Por último, la presente investigación permite un análisis de los efectos del nuevo informe adoptado (RFS) y ratifica su utilización en el marco de la investigación de sucesos aeronáuticos militares.

Considerando que en este trabajo se abordó sólo el análisis cuantitativo de los datos, se sugiere que otras investigaciones investiguen cualitativamente el impacto de la adopción del RFS en los procesos investigativos conducidos por el CENIPA, en el ámbito de la aviación militar.

## REFERENCIAS

AMANCIO, D. B. **O impacto da adoção do Relatório Final Simplificado nos processos Investigativos de Acidentes Aeronáuticos realizados pelo Comando da Aeronáutica**. 2015. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais). Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 1986. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L7565.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7565.htm)>. Acesso em: 15 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Portaria nº 2230/GC3, de 23 de dezembro de 2013. Aprova a reedição da NSCA 3-6, que dispõe sobre a Investigação de Ocorrências Aeronáuticas com Aeronaves Militares. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n. 248, 30 dez. 2013.

\_\_\_\_\_. Portaria nº 166/GC3, de 12 de fevereiro de 2014. Aprova a reedição da NSCA 3-13, que dispõe sobre os Protocolos de Investigação de Ocorrências Aeronáuticas da

Aviação Civil conduzidas pelo Estado Brasileiro. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n. 34, 18 fev. 2014.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Annex 13, Aircraft Accident and Incident Investigation**. 10. ed. Montreal, 2010.

MENDONÇA, F. A. C. A ficha CENIPA 15 e as atividades de prevenção do risco aviário. **Revista Conexão SIPAER**, v. 2, n. 3, 2011.

REASON, J. T. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. Aldershot: Ashgate, 1997.

RYAN, T. **Estatística moderna para engenharia**. Campus: Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, R. **Guia Técnico de Ação Inicial de Investigação de Acidentes Aeronáuticos com Aeronaves de Asas Fixas de Acordo com Técnicas Recomendadas Internacionalmente**. 2012. 206 f. Dissertação (Mestrado em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada)—Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 2012.

# Competências do piloto de caça da Força Aérea Brasileira para operar sistemas de Guerra Eletrônica da aeronave Gripen-NG: uma visão prospectiva

*Competencies of the Brazilian Air Force fighter pilot to operate Electronic Warfare systems of the Gripen-NG aircraft: a prospective view*

*Competencias del piloto de caza de la Fuerza Aérea Brasileña para operar sistemas de Guerra Electrónica de la aeronave Gripen-NG: una visión prospectiva*

Felipe Luis de Oliveira Vilela<sup>1</sup>

## RESUMO

Este trabalho se destina a analisar em que medida o Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica (CDGE), ministrado pelo Grupo de Instrução Tática Especializada (GITE), desenvolve as competências necessárias aos pilotos de caça da FAB para operar o sistema *Infrared Search and Track* (IRST) da aeronave Gripen-NG. Foram identificadas, por meio de pesquisa documental do conteúdo didático do CDGE, as competências desenvolvidas no referido curso. Já as competências necessárias para operar o sistema (IRST) foram caracterizadas por meio da aplicação do Método Delphi. A pesquisa e análise foram delineadas utilizando-se a fundamentação teórica apresentada por Carbone et al. (2009) sobre gestão por competências e o preconizado por Sacristán (2013), Perrenoud (1999) e outros autores que abordam competências no ensino. Após análise dos dados coletados, verificou-se que 53% das competências relacionadas aos conhecimentos, 67% daquelas ligadas às habilidades e 87% das competências relacionadas às atitudes são desenvolvidas no curso em questão, correspondendo a 73% das competências no total. Dessa forma, foi possível perceber que existe um *gap* de competências. Nesse sentido, torna-se possível agir por antecipação na adoção de medidas para diminuir a lacuna identificada, contribuindo-se na preservação de um elevado nível de preparo dos pilotos de caça da Força Aérea Brasileira (FAB), futuros operadores da aeronave Gripen-NG.

**Palavras-chave:** Competências. Gripen. Guerra eletrônica. *Infrared search and track*.

## ABSTRACT

*This work aims to analyze to which extent the Electronic Warfare Doctrine Course (EWDC), conducted by the Group of Specialized Tactical Instruction (GITE), develops the skills required for Brazilian Air Force (FAB) fighter pilots to operate the Infrared Search and Track (IRST) system of the Gripen-NG aircraft. Through the documentary research of the educational content of CDGE, the competencies developed in the mentioned course were identified. The skills required to operate the system (IRST), but its turn, were characterized by the application of the Delphi Method. The research and analysis were outlined using the theoretical basis presented by Carbone et al. (2009) about skill management and the proposed by Sacristán (2013), Perrenoud (1999) and other authors who address education competencies. By following the analysis of the data collected, it was noted that 53% of the competencies related to knowledge, 67% of those related to skills and 87% of the competencies related to the attitudes are developed in the course in question, corresponding to 73% of the competencies in total. Thus, it was possible to notice that there is a gap of competencies. In this sense, it is possible to act ahead in the adoption of measures to reduce the gap identified, contributing to the maintenance of a high-level training of the Brazilian Air Force (BAF) fighter pilots, future operators of Gripen-NG aircraft.*

**Keywords:** *Competencies. Gripen. Electronic warfare. Infrared search and track.*

I. Terceiro Esquadrão do Décimo Grupo de Aviação (3<sup>o</sup>/10<sup>o</sup> GA) – Santa Maria/RS – Brasil. Capitão Aviador da Força Aérea Brasileira (FAB). E-mail: vilelaflov@fab.mil.br

Recebido: 22/08/17

Aceito: 04/05/18

## RESUMEN

*Este trabajo se destina a analizar en qué medida el Curso Doctrinario de Guerra Electrónica (CDGE), impartido por el Grupo de Instrucción Táctica Especializada (GITE), desarrolla las habilidades requeridas para pilotos de caza de la FAB (Fuerza Aérea Brasileña) para operar el sistema de Búsqueda por Infrarrojo y Rastreo (en inglés Infrared Search and Track (IRST) de la aeronave Gripen-NG. Se identificaron, por medio de investigación documental del contenido didáctico del CDGE, las competencias desarrolladas en dicho curso. Las competencias necesarias para operar el sistema (IRST) fueron caracterizadas por medio de la aplicación del Método Delphi. La investigación y el análisis fueron delineados utilizando la fundamentación teórica presentada por Carbone et al. (2009) sobre gestión por competencias y el preconizado por Sacristán (2013), Perrenoud (1999) y otros autores que abordan competencias en la enseñanza. Después del análisis de los datos recolectados, se verificó que el 53% de las competencias relacionadas con los conocimientos, el 67% de las ligadas a las habilidades y el 87% de las competencias relacionadas con las actitudes se desarrollan en dicho curso, correspondiendo al 73% de las competencias en total. Por lo tanto, fue posible percibir que hay un hueco (gap) de competencias. En este sentido, se hace posible actuar por anticipado en la adopción de medidas para disminuir la brecha identificada, contribuyendo en la preservación de un alto nivel de preparación de los pilotos de caza de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB), futuros operadores de la aeronave Gripen-NG.*

**Palabras clave:** Competencias. Gripen. Guerra electrónica. Infrared search and track.

## 1 INTRODUÇÃO

A susceptibilidade do Poder Aeroespacial às evoluções tecnológicas é manifestada na contínua e crescente necessidade de aquisição de equipamentos de última geração, com o intuito de se obter vantagem estratégica. Essa demanda implica concentração de esforços da Força Aérea Brasileira (FAB) em compatibilizar o preparo para empregar os sistemas adquiridos, mantendo-se, assim, capacitada para manutenção da soberania do espaço aéreo. Esse entendimento é corroborado por meio da seguinte assertiva:

[...] Um ponto essencial é o fato que a transformação está associada às pessoas, pois envolve três elementos e suas interações, a saber: o “domínio de tecnologias avançadas”, que geram novas capacidades e que levam a “novos conceitos de operação”, diversificando e maximizando os efeitos desejados, e a “mudança organizacional”, que molda a estrutura e redefine processos de trabalho, de sorte a facultar eficiência na aplicação dos meios disponíveis. Portanto, a maior transformação a ser conquistada pela FAB deverá ocorrer no campo dos recursos humanos [...]. (BRASIL, 2017, p. 29).

Nesse contexto, por meio da Estratégia Nacional de Defesa (END), definiu-se que a FAB deveria adquirir aeronaves de caça que,

[...] substituam paulatinamente, as hoje existentes, buscando a possível padronização; a aquisição e o desenvolvimento de armamentos, e sistemas de autodefesa, objetivando a autossuficiência na integração destes às aeronaves. (BRASIL, 2008, p. 126).

Como resultado desse planejamento estratégico, em outubro de 2014 foi assinado o contrato de aquisição de 36 (trinta e seis) aeronaves Gripen-NG, denominadas na FAB como F-39, com um cronograma de recebimento e previsão de entrega da primeira aeronave em 2019 e a última em 2024 (FERREIRA; JUNIOR, 2016).

A aeronave Gripen-NG incorpora tecnologia avançada em praticamente todas as suas dimensões e o início da operação desse vetor ocasionará uma ruptura tecnológica (FERREIRA; JUNIOR, 2016).

Essa mudança conceitual pode ser evidenciada pela diversidade de sistemas novos<sup>1</sup> que, por estarem presentes no F-39, passarão a ser incorporados à FAB, com destaque, no âmbito do presente trabalho, aos relacionados à Guerra Eletrônica (GE).

Na literatura especializada há diversas definições para GE, mas, no contexto da FAB, entende-se GE como sendo a utilização de energia eletromagnética para destruir, neutralizar ou reduzir a capacidade de combate inimiga, procurando tirar proveito do uso do espectro eletromagnético<sup>2</sup> pelo oponente e visando a assegurar o emprego eficiente das emissões eletromagnéticas próprias (BRASIL, 2016a).

Por tratar do uso de um ambiente tão amplo, como o espectro eletromagnético, e por lidar com tecnologias avançadas, é possível inferir que, para aplicar corretamente os conceitos de GE, há necessidade de compreender uma grande gama de variáveis, envolvendo diversas áreas do conhecimento. Não obstante à complexidade do tema, o caráter estratégico da GE faz

<sup>1</sup> Podem ser citados os seguintes sistemas: radar *Active Electronic Scanning Array* (AESA), interferidor radar, *Non Cooperative Threat Recognition* (NCTR), *Decoy* descartável *Brite Cloud*, *Infrared Search and Track* (IRST), entre outros (SAAB, 2017).

<sup>2</sup> O espectro eletromagnético inclui as Frequências de Rádio (RF), infravermelho, visível e acima do visível (ADAMY, 2004, p. 78, tradução nossa).



que a troca de conhecimentos sobre o assunto ocorra de maneira restrita, como forma de manter a vantagem do lado de quem já desenvolveu essa capacidade.

Nesse sentido, conforme preconizado por meio da END, entende-se que a FAB deve “priorizar a formação, dentro e fora do Brasil, dos quadros técnico-científicos, militares e civis, que permitam alcançar a independência tecnológica” (BRASIL, 2008, p. 46). Dessa forma, para obter a autossuficiência almejada, torna-se perceptível a necessidade de desenvolver ferramentas de capacitação e treinamento para aprimorar as capacidades na área de GE de forma autônoma, sem depender apenas dos conhecimentos repassados por outras Forças Aéreas ou elementos externos à FAB.

Dessa forma, em consonância com as diretrizes superiores, o Comando da Aeronáutica (COMAER), por meio da DCA 11-45, Concepção Estratégica Força Aérea 100, entende que,

[...] à medida que novas capacidades são desenvolvidas, ou mesmo novos sistemas de armas são adquiridos e colocados em operação, a organização deve estar preparada para que os militares e civis da Força Aérea adquiram e mantenham as competências necessárias para esta nova realidade. Um sistema de arma eficaz operado por pessoal qualificado e com visão inovadora é um conjunto muito poderoso. A FAB deve ser capaz de modernizar suas técnicas de formação, especialização, preservando as normas e disciplina necessárias para alcançar a eficácia identificada na visão da FAB para o futuro. (BRASIL, 2017, p. 32).

Discutindo o conceito de competência, apresentado na DCA 11-45, Carbone et al. (2009) indicam tratar-se de uma combinação sinérgica de conhecimentos, habilidades e atitudes, expressas pelo desempenho profissional dentro de determinado contexto da organização. Nesse sentido, em conformidade com a definição apresentada pelo autor referenciado e traçando um paralelo com a visão apresentada na DCA 11-45, verifica-se que a FAB deve possibilitar que os futuros pilotos de F-39 adquiram e mantenham conhecimentos, habilidades e atitudes necessários à nova realidade. Mercado (2002) aprofunda a ideia, incluindo à discussão, o reflexo da tecnologia nos currículos e nas competências desenvolvidas pelo aprendizado.

[...]O reconhecimento de uma sociedade cada vez mais tecnológica deve ser acompanhado da conscientização da necessidade de incluir nos currículos escolares as habilidades e competências para lidar com as novas tecnologias. No contexto de uma sociedade do conhecimento, a educação exige uma abordagem diferente em que o componente tecnológico não pode ser ignorado [...]. (MERCADO, 2002, p. 11).

Atualmente, a capacitação doutrinária na área de GE dos pilotos operacionais da FAB ocorre por meio do Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica (CDGE), que é ministrado no Grupo de Instrução Tática Especializada (GITE) e tem como objetivo,

[...] fornecer a formação básica doutrinária para os militares que atuam na área de Guerra Eletrônica e que utilizem sistemas ou equipamentos que requeiram conhecimento doutrinário acerca desse tema. (BRASIL, 2012, p. 8).

Refletindo acerca da forma como a capacitação deve ser planejada no modelo de competências, Deluiz (2001) afirma que os conhecimentos e as habilidades adquiridos no processo educacional devem ter uma utilidade prática e imediata, relacionada aos objetivos e missão da organização, para dessa forma garantir o diferencial ou a vantagem competitiva. Aplicando essa teoria no ambiente da FAB, entende-se que o conteúdo do CDGE deve desenvolver competências que apresentem utilidade prática aos objetivos da FAB.

Diante do contexto exposto, entendido que o planejamento da capacitação dos pilotos da FAB necessita acompanhar a evolução tecnológica e deve ser orientado pelas competências, a fim de investigar se o aprendizado desenvolvido durante a formação dos pilotos na área de GE tem seguido o progresso proporcionado pela aquisição da aeronave Gripen-NG, foi estabelecido o seguinte problema de pesquisa: em que medida o Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica desenvolve as competências necessárias aos pilotos de caça da FAB para operar sistemas de Guerra Eletrônica da aeronave F-39 Gripen-NG?

Frente a grande quantidade de sistemas de GE existentes no F-39, para fins de delimitação trabalho, definiu-se que o presente artigo tratará apenas do sistema *Infrared Search and Track* (IRST).

É possível identificar a importância do referido equipamento pois o mesmo é capaz de, entre outras funções, realizar o acompanhamento de alvos por meio da emissão de calor dos mesmos. Dessa forma, torna-se possível **traquear**<sup>3</sup> uma aeronave de maneira passiva, sem alertá-la. Sendo assim, o inimigo terá dificuldades em perceber que está sendo acompanhado (ADAMY, 2004) e terá problemas em identificar o momento certo de iniciar as manobras evasivas para evitar o armamento, consistindo em uma vantagem operacional relevante.

A partir do problema descrito foram estabelecidos as seguintes questões norteadoras:

<sup>3</sup> Acompanhar o alvo em ângulo, velocidade e distância, possibilitando o lançamento do armamento.

QN1: Quais são as competências necessárias para operar o sistema IRST?

QN2: Quais competências necessárias para operar o sistema IRST são desenvolvidas no CDGE?

Como forma de encontrar uma resposta direta para a questão-problema, estabeleceu-se como Objetivo Geral do trabalho analisar a correlação entre as competências desenvolvidas no CDGE e aquelas necessárias aos pilotos de caça da FAB para operar o sistema IRST.

A fim de delinear as ações da presente pesquisa, visando ao alcance do Objetivo Geral, foram definidos os seguintes Objetivos Específicos (OE):

OE1: identificar as competências necessárias para operar o sistema IRST; e

OE2: identificar que competências necessárias para operar o sistema IRST são desenvolvidas no CDGE.

O resultado do trabalho fornece subsídios para análise, a partir de uma visão prospectiva, da pertinência do modelo atual de capacitação, possibilitando uma eventual readequação, além de servir como início do processo de mapeamento das competências necessárias para operar a aeronave Gripen-NG como um todo. Dessa forma, entende-se que há uma contribuição no sentido de buscar o aprimoramento na futura operação da aeronave F-39, apresentando relevância no contexto atual da FAB.

O estudo pode ser classificado como descritivo, pois, ao estabelecer uma análise entre as competências desenvolvidas e as necessárias, busca a obtenção e exposição de dados representativos de determinada situação (GIL, 2002).

Em relação aos procedimentos empregados, classifica-se como pesquisa documental, por haver necessidade de busca às normas e diretrizes que norteiam o CDGE, ou seja, a pesquisa será desenvolvida com base em material já elaborado que ainda não recebeu um tratamento analítico. Sob o mesmo critério, a pesquisa também pode ser vista como levantamento porque, a partir da aplicação de um questionário, objetivou-se identificar as competências necessárias para operar o sistema IRST por meio de solicitação de informações a um grupo de pessoas acerca do problema estudado, a fim de em seguida, mediante análise, obterem-se as conclusões correspondentes aos dados coletados (GIL, 2002).

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO

### 2.1 Teoria da gestão por competências

O presente trabalho utilizou como alicerce a teoria da gestão por competências, visto que tem sido apontada

como modelo gerencial alternativo aos instrumentos tradicionalmente utilizados (BRANDÃO; BAHRY, 2005).

A gestão por competências se propõe a,

orientar esforços para planejar, captar, desenvolver e avaliar, nos diferentes níveis da organização (individual, grupal e organizacional), as competências necessárias à consecução de seus objetivos. (CARBONE et al., 2009, p. 50).

Carbone et al. (2009, p. 41) preconizam que nesse tipo de gestão há o entendimento implícito que,

o domínio de certas competências – aquelas raras, valiosas, difíceis de serem desenvolvidas – conferem à organização um desempenho superior ao de seus concorrentes [...].

Dessa forma, entende-se que seja importante verificar se a FAB tem capacitado seu efetivo para dominar as competências relacionadas à operação de sistemas de GE e obter um desempenho superior ao do inimigo no emprego da aeronave F-39.

O termo competência é observado na literatura de maneira polissêmica. Assim, para efeito deste artigo, foi utilizada a seguinte definição:

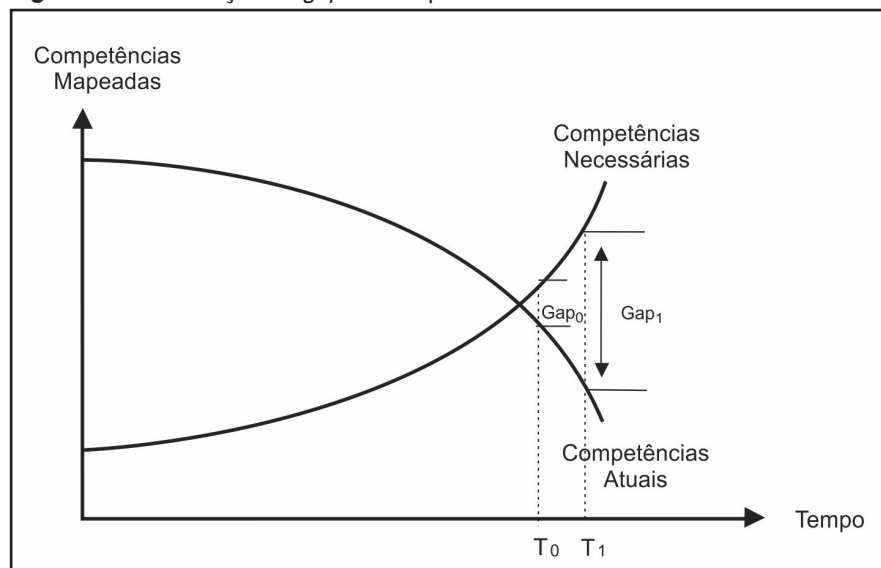
[...] as competências humanas ou profissionais são entendidas como combinações sinérgicas de conhecimentos, habilidades e atitudes, expressas pelo desempenho profissional em determinado contexto ou em determinada estratégia organizacional. (CARBONE et al., 2005 apud BRANDÃO; BAHRY, 2005, p. 180).

Fazendo um paralelo com o problema de pesquisa, observa-se que, sob o enfoque da teoria de gestão por competências, para operar um sistema de GE é necessário combinar de forma sinérgica conhecimentos, habilidades e atitudes na condução da missão.

Nesse cenário, conhecimento é definido como o saber que a pessoa acumulou ao longo de sua vida, algo relacionado à lembrança de conceitos, ideias ou fenômenos. A habilidade é entendida como a capacidade de uma pessoa instaurar conhecimentos armazenados em sua memória e utilizá-los em uma ação. Já a atitude é definida como a predisposição da pessoa, que influencia sua conduta em relação aos outros, ao trabalho ou a situações (CARBONE et al., 2009).

Um dos processos da gestão por competências é o mapeamento, que foi definido por Carbone et al. (2009), da identificação do *gap*, ou lacuna entre as competências necessárias ao alcance do desempenho esperado e as competências disponíveis na instituição. A referida lacuna tende a aumentar com o tempo, caso a organização não execute ações apropriadas para mitigar esse efeito.

A Figura 1 ilustra o mencionado nesse texto.

**Figura 1** – Identificação do *gap* de competências.

Fonte: Ienaga (1998 apud CARBONE et al., 2009).

Nesse sentido, segundo Carbone et al. (2009, p. 53), o mapeamento permite,

não apenas a identificação do *gap*, mas também o planejamento de ações de desenvolvimento de competências que permitam minimizar essa lacuna,

podendo concentrar-se na captação de recursos, identificação e alocação de talentos ou na compatibilização das ferramentas de educação corporativa. Sobre o assunto, Carbone et al. (2009, p. 72) afirmaram.

O subsistema de educação corporativa, por exemplo, atua diretamente no processo de desenvolvimento de competências humanas, promovendo a socialização das competências existentes e provendo a organização de ações de aprendizagem que permitam eliminar eventuais lacunas de competências, conforme sugerem Freitas e Brandão (2006). Pode, também, agir por antecipação, desenvolvendo hoje competências que serão necessárias apenas no futuro.

Aplicando a teoria apresentada, no presente estudo optou-se pela análise, a partir do Currículo Mínimo e do Plano de Unidades Didáticas (PUD), das competências desenvolvidas no CDGE, ferramenta de educação corporativa da FAB, utilizada para desenvolver as competências dos pilotos na área de GE. Dessa forma, busca-se agir por antecipação, entendendo-se que o aprimoramento do conteúdo do referido curso possa ser determinante na futura operação do sistema IRST da aeronave F-39.

Trazendo para a discussão a relação entre o currículo e a aprendizagem, Sacristán (2013, p.17) apresentou a seguinte assertiva: “De tudo aquilo

que sabemos e que, em tese, pode ser ensinado ou aprendido, o currículo a ensinar é uma seleção organizada dos conteúdos a aprender [...]”. Ou seja, o programa didático do CDGE, orientado pelo currículo, deve definir de forma organizada o que se espera que os pilotos aprendam.

Aprofundando o assunto, Costa (2005) indicou que, ao utilizar a noção de competência na organização do currículo, o mesmo não deve ser desvinculado da prática. Dessa forma, os currículos, na visão da autora citada, “não devem mais definir os conhecimentos a serem ensinados, mas sim as competências que devem ser construídas” (COSTA, 2005, p. 53).

Complementando essa ideia, Deluiz (2001) identificou que, no modelo de competências, a investigação dos processos de trabalho e a identificação de perfis profissionais são indicações gerais para a organização do currículo, o qual deve ser flexível.

Portanto, a partir dos conceitos apresentados, entende-se que o currículo do CDGE deve ser maleável e voltado para as atividades práticas, para dessa forma se adequar ao desenvolvimento das competências pretendidas.

Ademais, observa-se que os conceitos da gestão por competências e do aprendizado proveniente do currículo convergem no sentido de buscar a capacitação do piloto para mobilizar aquilo que foi estudado em competências, aqui definidas como conhecimentos, habilidades e atitudes, possibilitando agir de forma adequada frente às situações que poderá vivenciar durante as missões.

## 2.2 Competências necessárias para operar o sistema IRST da aeronave F-39

Para enumerar as competências necessárias para operar o sistema IRST da aeronave Gripen, utilizou-se o Método Delphi.

Segundo Cardoso et al. (2005), o Método Delphi tem sido um dos 286 instrumentos mais utilizados na realização de estudos prospectivos. Wright e Giovinazzo (2000) apresentam o Delphi como uma técnica 288 que busca estabelecer um consenso de opiniões em um grupo formado por 289 especialistas sobre eventos futuros.

Segundo Wright e Giovinazzo (2000), podem ser listadas como vantagens do Método Delphi a possibilidade de realizar previsões em situações de carência de dados históricos e o anonimato nas respostas, eliminando a influência de fatores como o status acadêmico ou profissional do respondente, ou sua capacidade de oratória, na consideração da validade de seus argumentos.

Em contrapartida, os mesmos autores também apresentam como desvantagens e limitações da ferramenta o tratamento estatisticamente não aceitável e a excessiva dependência dos resultados em relação à seleção dos especialistas, com a possibilidade de introdução de viés pela escolha dos respondentes.

Sobre as limitações mencionadas, Wright e Giovinazzo (2000, p. 64) entendem que,

[...] o Método Delphi não pretende fazer um levantamento estatisticamente representativo da opinião de um determinado grupo, tratando-se essencialmente de uma consulta a um grupo limitado e seletivo de especialistas, que por meio de sua capacidade de raciocínio lógico, da sua experiência e da troca objetiva de informações procura chegar a opiniões conjuntas sobre as questões propostas, não se aplicando validade estatística da amostra nessa situação.

Diante dos pontos apresentados, o Método Delphi mostrou-se o mais adequado para o estudo em questão, tendo em vista que se pretendeu obter uma projeção, por meio da experiência profissional e capacidade de raciocínio dos especialistas selecionados, em um cenário sem dados históricos, da futura necessidade de capacitação dos pilotos, sem aspiração de validade estatística.

Sobre a seleção dos especialistas, Cardoso et al. (2005, p. 68) apresentou a seguinte definição:

[...] profundo conhecedor do assunto, seja por formação/especialização acadêmica, seja por experiência de atuação no ramo em questão. Dependendo do tema e dos objetivos da pesquisa, é até recomendável a participação de especialistas de diferentes formações e áreas de atuação.

Com base na descrição mencionada, para o presente estudo, foram selecionados como especialistas, dentro do universo dos pilotos de caça, aqueles com experiência em aeronaves de primeira linha<sup>4</sup> e conhecimento na área de GE. O grupo selecionado contou com 3 pilotos experimentais de ensaio em voo, que possuem experiência em todas as aeronaves de primeira linha da FAB e em outras no exterior, 2 pilotos de Gripen C/D<sup>5</sup> e 3 pilotos de A-1, sendo que todos possuem o CDGE e 5 são formados no Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (CEAAE)<sup>6</sup>.

Partindo do pressuposto que o conhecimento sobre GE e operação de aeronaves de caça de primeira linha foram pontos comuns, a diversificação do tipo de aeronave pilotada teve como objetivo permitir que as diferentes experiências profissionais dos selecionados se complementassem na busca do consenso sobre o assunto, admitindo maior robustez ao resultado e atenuando a possibilidade de introdução de viés na pesquisa.

Os questionários foram aplicados por meio da ferramenta *google forms*. Na primeira série de perguntas, buscou-se estabelecer, na visão dos especialistas, quais são as competências necessárias para um piloto de caça da FAB operar o IRST. Conforme preconizam Carbone et al. (2009), as competências foram desmembradas em três categorias de análise, já descritas na seção anterior, a saber: conhecimentos, habilidades e atitudes.

Com as respostas do primeiro questionário, foi realizado um exame, com objetivo de eliminar ambiguidades, repetições e (ou) incorreções, para então elaborar-se o segundo questionário, que buscou analisar o consenso entre os especialistas. O referido questionário apresentou 17 conhecimentos, 16 habilidades e 23 atitudes, as quais foram analisadas pelos mesmos especialistas, para verificar o nível de concordância. No presente trabalho, foi considerado aceitável quando o coeficiente de concordância (Cc) apresentou valores  $Cc \geq 60\%$ , seguindo o proposto por Santos (2001).

<sup>4</sup> 1ª linha da aviação de caça refere-se às seguintes Unidades: 1º GDA, 1º GAVCA, 1º/4º GAV e 1º/14º GAV, que operam a aeronave F-5M, além do 1º/10º GAV e 3º/10º GAV que operam a aeronave A-1 e A-1M (BRASIL, 2016b). Futuramente, as Unidades operadoras de F-39 comporão o referido Grupo.

<sup>5</sup> Versão anterior ao Gripen-NG.

<sup>6</sup> Curso de Especialização *Lato Sensu* ministrado no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Apresenta como pré-requisito ter concluído o CDGE (BRASIL, 2015a).

Conforme o autor ora citado, este coeficiente é determinado conforme Equação 1.

$$C_c = (1 - V_n/V_t) \times 100 \quad (1)$$

onde,

$C_c$  = Coeficiente de concordância expresso em porcentagem;

$V_n$  = Quantidade de especialistas em desacordo

com o critério predominante; e

$V_t$  = Quantidade total de especialistas.

Como resposta do segundo questionário, verificou-se que todas as competências indicadas pelos especialistas atingiram nível de concordância igual ou superior a 60%. Os quadros 1, 2 e 3 apresentam as competências enumeradas pelos especialistas, com seus respectivos coeficientes de concordância.

**Quadro 1 – Conhecimentos.**

Código	Descrição das competências	Cc
C1	Conhecer os fundamentos básicos, princípio de funcionamento e as capacidades de um sistema IRST.	100%
C2	Conhecer as características e propriedades da propagação das emissões na faixa IR.	100%
C3	Conhecer as principais Medidas de Ataque Eletrônico ( <i>jamming</i> /interferência) aplicáveis contra um sistema IRST.	100%
C4	Conhecer as principais limitações de um sistema IRST.	100%
C5	Conhecer os tipos de emissão eletromagnética utilizados pelos vetores atuais, amigos e inimigos, principalmente os da América do Sul.	87,5%
C6	Conhecer a influência das variáveis atmosféricas (nuvens, chuva, etc.) na propagação da radiação IR e no desempenho do sistema IRST.	100%
C7	Conhecer as vantagens e desvantagens da utilização do IRST <i>versus</i> Radar para detecção e engajamento de alvos no ambiente de combate aéreo.	100%
C8	Conhecer as vulnerabilidades e vantagens do uso do sistema IRST em relação a uma ameaça real na América do Sul.	100%
C9	Conhecer as vantagens e desvantagens da utilização de equipamentos de detecção passiva.	87,5%
C10	Conhecer as diferentes características de emissão Infravermelho de motores de aeronave de caça (jato puro, <i>turbofan</i> , etc.) e de outros vetores (aeronaves à hélice, helicópteros, etc.).	87,5%
C11	Conhecer os princípios de funcionamento e limitações de um sistema IR.	100%
C12	Conhecer os conceitos básicos de propagação.	100%
C13	Conhecer os conceitos básicos de Guerra Eletrônica.	87,5%
C14	Conhecer as táticas de uso de sensores passivos.	87,5%
C15	Conhecer as divisões e características do espectro eletromagnético.	87,5%
C16	Conhecer como são produzidas as imagens/ <i>plots</i> do IRST da detecção até a sua interface com o piloto.	62,5%
C17	Conhecer as limitações de integração entre os subsistemas da aeronave de modo a detectar possíveis limitações no emprego da aeronave no ambiente de combate aéreo.	87,5%

Fonte: O autor.

**Quadro 2 – Habilidades.**

Código	Descrição das competências	Cc
H1	Identificar se a condição atmosférica propicia o emprego do sistema IRST.	100%
H2	Analisar se o funcionamento do sistema IRST condiz com a teoria, identificando adequadamente um mau funcionamento.	100%
H3	Calcular, de maneira estimada, a efetividade (alcance máximo/nível mínimo de sinal para acompanhamento, etc.) do sistema IRST.	100%
H4	Identificar em tempo real as possíveis limitações do sistema IRST e adotar medidas mitigadoras (Ex: mudança de sensor para o RADAR).	100%
H5	Avaliar e planejar as condições para emprego combinado ou isolado do sistema IRST.	100%
H6	Havendo consciência das ameaças no cenário, ser efetivo na escolha do sensor adequado (RADAR/IRST).	100%
H7	Identificar as possíveis restrições do sistema IRST em medidas de identificação visual.	87,5%
H8	Definir as melhores doutrinas de emprego do sistema IRST.	75%
H9	Operar o sistema IRST, conjuntamente com os demais sistemas da aeronave, de forma correta e eficiente com objetivo de obter vantagem tática.	100%
H10	Interpretar corretamente as formas de apresentação de imagens/ <i>plots</i> dos alvos e suas variações de acordo com as condições de radiação e atmosfera.	100%
H11	Interpretar a ocorrência de Ataque Eletrônico ( <i>interferência/jamming</i> ) contra o sistema IRST.	100%
H12	Identificar corretamente o seu alvo com o emprego do sistema IRST dentro de um cenário complexo de multiaeronaves ( <b>TARGETING</b> e <b>SORTING</b> ).	100%
H13	Reconhecer e identificar a existência de alvos falsos.	100%
H14	Reconhecer e identificar a presença de forças amigas (alas, forças atacantes amigas, etc.).	100%
H15	Planejar e analisar possíveis resultados esperados da utilização do sistema IRST.	87,5%
H16	Manobrar de maneira adequada para maior efetividade no uso do sistema IRST.	100%

Fonte: O autor.

**Quadro 3 – Atitudes.**

(continua)

Código	Descrição das competências	Cc
A1	Valorizar os cursos de GE no âmbito da FAB.	100%
A2	Valorizar o conhecimento da Guerra Eletrônica como fator multiplicador da capacidade de combate.	100%
A3	Ter a iniciativa de adquirir conhecimento sobre as capacidades de Medidas de Ataque Eletrônico ( <i>interferência/jamming</i> ) e de redução de assinatura do inimigo.	100%
A4	Valorizar o conhecimento sobre equipamentos de GE que possam degradar a utilização do IRST.	100%

A5	Valorizar o estudo do sistema IRST.	100%
A6	Buscar atualizar-se sobre novas tecnologias de detecção IR.	100%
A7	Incentivar a utilização dos sistemas de GE disponíveis na UAE.	100%
A8	Incentivar o estudo e desenvolvimento da GE na Unidade Aérea.	100%
A9	Compreender a importância dos conhecimentos básicos de GE para operação dos sistemas embarcados.	100%
A10	Valorizar a necessidade de um estande de Guerra Eletrônica da FAB para o estudo e desenvolvimento de uma doutrina voltada para ações de GE.	100%
A11	Reconhecer a importância da Avaliação Operacional (AVAOP) nos processos operacionais periódicos.	75%
A12	Procurar manter o conhecimento atualizado frente às novas possibilidades e tecnologias.	100%
A13	Ter disposição e vontade de colocar em prática os conhecimentos e as habilidades desenvolvidas após o estudo do equipamento.	100%
A14	Estar atento a qualquer discrepância ou comportamento anormal do sistema IRST visando a gestão do conhecimento e identificação de limitações.	100%
A15	Estimular o Desenvolvimento de táticas conjugadas com outros equipamentos e aeronaves, de modo a utilizar a capacidade em prol de outras aeronaves.	100%
A16	Valorizar o estudo dos sistemas da aeronave para obter o melhor desempenho dos equipamentos.	100%
A17	Valorizar a execução de intercâmbios operacionais com Forças Aéreas operadoras de IRST e outros sistemas de GE.	100%
A18	Fomentar o desenvolvimento e prática de novas táticas baseadas na utilização dos equipamentos de GE, em especial do IRST.	100%
A19	Buscar um pensamento inovador na área operacional.	100%
A20	Ter a iniciativa de desenvolver táticas com o sistema IRST associadas ao <i>datalink</i> e radar para o ambiente de combate aéreo.	100%
A21	Reconhecer a importância da existência de técnicos (especialistas e engenheiros) como meio de suporte operacional.	87,5%
A22	Valorizar, na mesma proporção, o seu conhecimento teórico do equipamento e a sua experiência progressiva como piloto de caça.	75%
A23	Valorizar o uso dos princípios de inteligência e de salvaguarda das informações na gerência do conhecimento sobre GE.	100%

Fonte: O autor.

### 2.3 Competências desenvolvidas no CDGE

Para atingir o OE2, conforme os conceitos expostos por Sacristán (2013) e demais autores referenciados, e com a finalidade de identificar as competências necessárias que são desenvolvidas durante o curso, foi realizada uma análise das normas que regem a execução do CDGE, por meio de pesquisa documental do conteúdo do Plano de Unidades Didáticas (PUD) e do Currículo Mínimo (ICA 37-507). A referida pesquisa foi

concretizada por contato direto com o GITE e acesso ao repositório de legislações da FAB, no sítio eletrônico do Centro de Documentação da Aeronáutica (CENDOC).

Cabe ressaltar que não foi possível identificar as competências desenvolvidas nos discentes após o curso. Sendo assim, o presente estudo considerou, para fins de análise, que os alunos aprovados desenvolvem as competências que são propostas no conteúdo programático, consistindo de uma limitação da pesquisa.

### 3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Concluída a aplicação do Método Delphi, foram indicadas pelos especialistas 56 competências, subdivididas em 17 conhecimentos, 16 habilidades e 23 atitudes. Essas competências foram correlacionadas principalmente com o PUD, por este apresentar maior detalhamento na descrição do conteúdo e por indicar os objetivos operacionalizados de cada disciplina (BRASIL, 2015b), conforme indicado no Quadro 4.

Inicialmente, identificou-se que, entre os 17 conhecimentos listados pelos especialistas, 8 são ministrados no CDGE.

Dessa forma, percebe-se que 47% dos conhecimentos indicados pelos especialistas como necessários para operar o sistema IRST do Gripen-NG são desenvolvidos no CDGE.

Ao aprofundar a análise, foi possível observar que os conhecimentos C16 e C17 são totalmente dependentes da interação com a aeronave Gripen-NG. Outrossim, dado que o CDGE não tem como propósito capacitar o piloto na operação da aeronave, os referidos conhecimentos, tidos como específicos, foram desconsiderados no âmbito do presente trabalho. Isto posto, observou-se uma relação de 53% entre os conhecimentos necessários para operar o IRST do Gripen-NG e aqueles ministrados no CDGE.

Posteriormente, identificou-se que, entre as 16 habilidades listadas pelos especialistas, 2 são desenvolvidas no CDGE, totalizando 12,5%.

Sobre o assunto, semelhante ao ocorrido com os conhecimentos, porém de maneira mais ostensiva, foram indicadas pelos especialistas 13 habilidades (H4 até H16) diretamente dependentes da aeronave. Tal resultado é compreensível, tendo em vista que,

conforme já mencionando no presente artigo, a habilidade foi considerada como sendo a capacidade de uma pessoa instaurar conhecimentos armazenados em sua memória e utilizá-los em uma ação. Sendo assim, é coerente que os especialistas indiquem como necessárias habilidades que envolvam a execução do voo em si.

Entretanto “Desenvolver competências não é contentar-se em ter seguido um programa, e sim não parar com sua construção e testagem.” (PERRENOUD, 1999, p. 79). Dessa forma, é importante compreender que o processo de desenvolvimento de competências não se encerra ao término de um único curso teórico, visto que deve ser continuamente aprimorado nas unidades operacionais.

Para manter o enfoque estabelecido no problema de pesquisa, foram consideradas apenas as habilidades indicadas pelos especialistas que não dependem da execução do voo. Sendo assim, observou-se uma relação de 67% entre as habilidades necessárias para operar o IRST do Gripen-NG e aquelas desenvolvidas no CDGE.

Por fim, identificou-se que no PUD e Currículo Mínimo do CDGE há objetivos de ensino bastante amplos e genéricos voltados ao campo das atitudes, a saber:

- a) possuir a consciência da importância da Guerra Eletrônica como fator multiplicador da capacidade de combate da Força Aérea e da importância da divulgação da doutrina estabelecida pelo COMGAR;
- b) formar profissionais empreendedores com capacidade de promover o desenvolvimento doutrinário e operacional da Força Aérea; e
- c) proporcionar o desenvolvimento do raciocínio crítico e do conhecimento técnico para avaliar o emprego dos vetores aéreos à luz da doutrina de Guerra Eletrônica, implementando soluções adequadas ao desenvolvimento operacional da FAB. (BRASIL, 2012, p. 8).

**Quadro 4** – Correlação de competências.

Competências necessárias	Disciplinas CDGE
C2, C6, C10, H1	Eletro-óptica (infravermelho).
C9	Utilização dos equipamentos de detecção passiva.
C11, C13, H3	Fundamentos de Guerra Eletrônica.
C12	Conceitos básicos de Guerra Eletrônica.
	Propagação.
	Ondas eletromagnéticas.
C15	Divisão da Guerra Eletrônica.
C1, C3 até C8, C14, C16, C17, H2, H4 até H16, A21 até A23	Não abordado.
A1 até A20	Todas as disciplinas (objetivo geral do curso).

Fonte: O autor.



A abrangência desses tópicos é realçada por se tratar de objetivos gerais do curso que se pretende atingir ao término de todas as disciplinas. Conforme indicado por Carbone et al. (2009), atitude é a predisposição da pessoa para realizar a ação, relacionada ao **querer fazer**. Sendo assim, considerou-se que, a partir do momento em que o piloto desenvolve as atitudes citadas como objetivos gerais do curso, ele conseqüentemente desenvolverá outras atitudes mais específicas, decorrentes dessas principais. Dessa forma, observou-se que 20 atitudes relatadas pelos especialistas como necessárias são desenvolvidas no CDGE (A1 até A20, inclusive), correspondendo a 87% do total indicado.

Em resumo, foi possível observar que o CDGE desenvolve 30 competências apontadas pelos especialistas como necessárias para operar o IRST da aeronave F-39 (8 conhecimentos, 2 habilidades e 20 atitudes). Levando em consideração as ressalvas apresentadas na análise em relação às competências dependentes da aeronave, percebe-se que são necessárias 41 competências (15 conhecimentos, 3 habilidades e 23 atitudes). Sendo assim, aplicada uma relação percentual entre os totais desenvolvidos e necessários, observa-se que há 73% de correspondência, conforme Tabela 1.

Empregando a teoria apresentada por Carbone et al. (2009), foi possível identificar que há um *gap* de competências, decorrente principalmente da inclusão de um novo componente tecnológico no processo, a aeronave Gripen-NG. Conforme preconizam os autores citados, a organização (FAB) deve buscar maneiras de diminuir essa lacuna ao mínimo possível para, dessa forma, manter-se competitiva, o que, no caso de uma Força Aérea, pode ser entendido como preservar uma capacidade operacional equivalente ou superior às ameaças.

Observou-se assim que, ao realizar uma análise sob a ótica da gestão por competências, foi possível identificar uma lacuna de capacitação em relação à futura necessidade da FAB na operação do IRST

na aeronave Gripen-NG, que torna praticável uma ação corretiva e por antecipação, no sentido de minimizar ou eliminar essa lacuna, contribuindo na preservação de um elevado nível de preparo dos pilotos de caça da FAB, futuros operadores da aeronave Gripen-NG.

Os resultados também permitem identificar que, apesar de existir um *gap*, o CDGE colabora no aprimoramento de conhecimentos, habilidades e atitudes necessárias para a operação do IRST, pois desenvolve 73% das competências tidas como fundamentais pelos especialistas. Conseqüentemente, entende-se que, independente de ocorrer alguma ação para minimizar a lacuna de competências identificada, deve haver um esforço no sentido de possibilitar que todos os futuros pilotos de F-39 frequentem o CDGE antes de operar o sistema IRST da aeronave.

Ademais, de acordo com as teorias expostas por Costa (2005), Deluiz (2001) e Sacristán (2013), conhecendo o perfil profissional desejado do piloto (competências necessárias), há uma indicação de como o conteúdo do CDGE e de outros cursos correlatos podem ser aperfeiçoados, se equiparados com as práticas necessárias ao piloto de caça para operar os diversos sistemas da aeronave F-39, sob a luz do modelo de competências.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho foi motivado a partir da inquietação proveniente da aquisição da aeronave Gripen-NG pela FAB, visto que a mesma trará consigo uma série de inovações tecnológicas, especialmente na área de Guerra Eletrônica (GE), que irá requerer um alto nível de capacitação por parte dos pilotos.

Nesse sentido, procurou-se investigar, baseando-se nos conceitos de gestão por competências, se o aprendizado desenvolvido durante a formação dos pilotos na área de GE tem seguido o progresso proporcionado pela aquisição da aeronave Gripen-NG.

**Tabela 1** – Resumo dos resultados por categorias de análise.

Competências	Desenvolvidas	Necessárias	Relação percentual
Conhecimentos	8	15	53%
Habilidades	2	3	67%
Atitudes	20	23	87%
Total	30	41	73%

**Fonte:** O autor.

Para isso, foi estabelecido o seguinte problema de pesquisa: em que medida o Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica desenvolve as competências necessárias aos pilotos de caça da FAB para operar sistemas de Guerra Eletrônica da aeronave F-39 Gripen-NG?

A partir desse questionamento, optou-se por limitar o estudo ao sistema IRST e apresentou-se, como objetivo geral deste trabalho, analisar a correlação entre as competências desenvolvidas no curso e as necessárias aos pilotos para operar o referido sistema. Com o propósito de responder ao problema de pesquisa e alcançar o objetivo geral deste artigo, foram apresentadas duas questões norteadoras e dois objetivos específicos. O primeiro (OE1) buscou identificar as competências necessárias para operar o sistema IRST. Já o segundo (OE2) teve o propósito de identificar se as competências necessárias para operar o sistema IRST são desenvolvidas no CDGE.

Inicialmente, para atingir o OE1, foi realizado um levantamento, utilizando-se o método Delphi, em duas séries, nas quais um grupo de 8 especialistas elencou as competências necessárias. Posteriormente, para atingir o OE2, foi realizada uma pesquisa documental, por meio da análise do PUD e do Currículo Mínimo do CDGE, em que se identificaram as competências necessárias desenvolvidas no curso.

Dessa forma, por meio da análise dos resultados obtidos no decorrer do trabalho, foi possível responder ao problema de pesquisa e constatar que 73% das competências necessárias para operar o sistema IRST da aeronave F-39 são desenvolvidas no CDGE, divididas em 53% de conhecimentos, 67% de habilidades e 87% de atitudes.

Por fim, como proposta para trabalhos futuros, sugere-se mapear as competências necessárias para operar outros sistemas relevantes da aeronave Gripen-NG e verificar se os alunos progressos do CDGE de fato desenvolvem as competências previstas no conteúdo programático.

## REFERENCIAS

ADAMY, D. **EW 102: a second course in electronic warfare**. [S.l.]: Artech House, 2004.

BRANDÃO, H. P.; BAHRY, C. P. Gestão por competências: métodos e técnicas para mapeamento de competências. **Revista do Serviço Público**, Brasília, v. 56, n. 2, p. 179-194, abr./jun. 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.enap.gov.br/handle/1/1504>> Acesso em: 4 mar. 2017.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando-Geral de Operações Aéreas. Portaria COMGAR nº 318/GC3, de 28 de março de 2016. Aprova a reedição das Normas reguladoras da Progressão Operacional de Oficiais Aviadores da Força Aérea Brasileira(ICA 55-6). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 56, f. 2784, 4 abr. 2016b.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Comando-Geral de Operações Aéreas. Portaria COMGAR nº 49/SCAP-17, de 17 de fevereiro de 2012. Aprova a edição do Currículo Mínimo do Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica (ICA 37-507). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 62, f. 1991, 17 fev. 2012.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial. Portaria DCTA nº 103/DNO, de 16 de abril de 2015. Aprova a reedição das Normas reguladoras do Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (ICA 37-581). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 76, f. 3306, 24 abr. 2015a.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Gabinete do Comandante da Aeronáutica. Portaria GABAER nº 189/GC3, de 30 de janeiro de 2017. Aprova a primeira modificação da Concepção Estratégica Força Aérea 100 (DCA 11-45). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 18, f. 1058, 1 fev. 2017.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Grupo de Instrução Tática e Especializada. **Apostila do Curso Doutrinário de Guerra eletrônica: divisões da Guerra Eletrônica**. Parnamirim, RN: [s.n.], 2016a. 11f.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Grupo de Instrução Tática e Especializada. **Plano de Unidades Didáticas do Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica**. Parnamirim, RN: [s.n.], 2015b. 42f.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <[http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado\\_e\\_defesa/END-PND\\_Optimized.pdf](http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/END-PND_Optimized.pdf)> Acesso em: 4 mar. 2017.

CARBONE, P. P. et al. (Org.). **Gestão por competências e gestão do conhecimento**. 3.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2009.

CARDOSO, L R. A. et al. Prospecção de futuro e Método Delphi: uma aplicação para a cadeia produtiva da construção habitacional. **Revista Ambiente Construído**, Rio Grande do Sul, v. 5, n 3, p. 63-78, abr./jun. 2005. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3650/2008>> Acesso em: 4 mar. 2017.

COSTA, T. A. A noção de competência enquanto princípio de organização curricular. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 52-62, ago. 2005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-24782005000200005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782005000200005&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 21 abr. 2017.

DELUIZ, N. O modelo das competências profissionais no mundo do trabalho e na educação: implicações para o currículo. **Boletim Técnico do SENAC**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 13-25, 2001.

FERREIRA, M. J. B.; JUNIOR, C. N. A incursão do Brasil no segmento de aviões de caça da indústria aeronáutica militar: o projeto F-X2. ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DE DEFESA, 9., 2016. **Anais Eletrônicos...** Florianópolis, 2016. Disponível em: [http://wwabw.ened2016.abedef.org/resouces/anais/3/1466389753\\_ARQUIVO\\_Ferreira\\_Marcos\\_IXENABED\\_AT1\\_Artigo.VF.pdf](http://wwabw.ened2016.abedef.org/resouces/anais/3/1466389753_ARQUIVO_Ferreira_Marcos_IXENABED_AT1_Artigo.VF.pdf). Acesso em: 4 mar. 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MERCADO, L. P. L. (Org.). **Novas tecnologias na educação**: reflexões sobre a prática. Maceió: EDUFAL, 2002.

PERRENOUD, P. **Construir as competências desde a escola**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

SAAB. **Informações institucionais**. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://www.saab.com/pt/air/gripen-fighter-system/gripen/gripen.com/Orgulho-de-ser-Brasileiro/o-gripen-para-o-Brasil/>. Acesso em: 4 mar. 2017.

SACRISTÁN, J. G. (Org.). **Saberes e incertezas sobre o currículo**. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, A. C. O uso do método Delphi na criação de um modelo de competências. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 25-32, abr./jun. 2001.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi – Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 12, 2. trim. 2000. Disponível em: <http://regeusp.com.br/arquivos/C12-art05.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2017.

# Competencies of the Brazilian Air Force fighter pilot to operate Electronic Warfare systems of the Gripen-NG aircraft: a prospective view

*Competencias del piloto de caza de la Fuerza Aérea Brasileña para operar sistemas de Guerra Electrónica de la aeronave Gripen-NG: una visión prospectiva*

*Competências do piloto de caça da FAB para operar sistemas de Guerra Eletrônica da aeronave Gripen-NG, uma visão prospectiva*

Felipe Luis de Oliveira Vilela<sup>1</sup>

## ABSTRACT

This work aims to analyze to which extent the Electronic Warfare Doctrinaire Course (EWDC), conducted by the Group of Specialized Tactical Instruction (GITE), develops the skills required for Brazilian Air Force (FAB) fighter pilots to operate the Infrared Search and Track (IRST) system of the Gripen-NG aircraft. Through the documentary research of the educational content of CDGE, the competencies developed in the mentioned course were identified. The skills required to operate the system (IRST), but its turn, were characterized by the application of the Delphi Method. The research and analysis were outlined using the theoretical basis presented by Carbone et al. (2009) about skill management and the proposed by Sacristán (2013), Perrenoud (1999) and other authors who address education competencies. By following the analysis of the data collected, it was noted that 53% of the competencies related to knowledge, 67% of those related to skills and 87% of the competencies related to the attitudes are developed in the course in question, corresponding to 73% of the competencies in total. Thus, it was possible to notice that there is a gap of competencies. In this sense, it is possible to act ahead in the adoption of measures to reduce the gap identified, contributing to the maintenance of a high-level training of the Brazilian Air Force (FAB) fighter pilots, future operators of Gripen-NG aircraft.

**Keywords:** Competencias. Gripen. Guerra electrónica. Infrared search and track.

## RESUMEN

*Este trabajo se destina a analizar en qué medida el Curso Doctrinario de Guerra Electrónica (CDGE), impartido por el Grupo de Instrucción Táctica Especializada (GITE), desarrolla las habilidades requeridas para pilotos de caza de la FAB (Fuerza Aérea Brasileña) para operar el sistema de Búsqueda por Infrarrojo y Rastreo (en inglés Infrared Search and Track (IRST) de la aeronave Gripen-NG. Se identificaron, por medio de investigación documental del contenido didáctico del CDGE, las competencias desarrolladas en dicho curso. Las competencias necesarias para operar el sistema (IRST) fueron caracterizadas por medio de la aplicación del Método Delphi. La investigación y el análisis fueron delineados utilizando la fundamentación teórica presentada por Carbone et al. (2009) sobre gestión por competencias y el preconizado por Sacristán (2013), Perrenoud (1999) y otros autores que abordan competencias en la enseñanza. Después del análisis de los datos recolectados, se verificó que el 53% de las competencias relacionadas con los conocimientos, el 67% de las ligadas a las habilidades y el 87% de las competencias relacionadas con las actitudes se desarrollan en dicho curso, correspondiendo al 73% de las competencias en total. Por lo tanto, fue posible percibir que hay un hueco (gap) de competencias. En este sentido, se hace posible actuar por anticipado en la adopción de medidas para disminuir la brecha identificada, contribuyendo en la preservación de un alto nivel de preparación de los pilotos de caza de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB), futuros operadores de la aeronave Gripen-NG.*

**Palabras clave:** Competencias. Gripen. Guerra electrónica. Infrared search and track.

I. Third Squadron of the Tenth Aviation Group (3<sup>rd</sup>/10<sup>th</sup> GAv) – Santa Maria/RS – Brazil. Captain Aviator of Brazilian Air Force (FAB). E-mail: vilelaflov@fab.mil.br

Received: 08/22/17

Accepted: 05/04/18

The acronyms of the words Electronic Warfare Course Doctrinaire (EWDC), Electronic Warfare (EW), Guiding Questions (GQ) and Specific Objectives (SO) were employed in English. The other acronyms and abbreviations contained in this article correspond to those used in the original article in Portuguese.

## RESUMO

*Este trabalho se destina a analisar em que medida o Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica (CDGE), ministrado pelo Grupo de Instrução Tática Especializada (GITE), desenvolve as competências necessárias aos pilotos de caça da FAB para operar o sistema Infrared Search and Track (IRST) da aeronave Gripen-NG. Foram identificadas, por meio de pesquisa documental do conteúdo didático do CDGE, as competências desenvolvidas no referido curso. Já as competências necessárias para operar o sistema (IRST) foram caracterizadas por meio da aplicação do Método Delphi. A pesquisa e análise foram delineadas utilizando-se a fundamentação teórica apresentada por Carbone et al. (2009) sobre gestão por competências e o preconizado por Sacristán (2013), Perrenoud (1999) e outros autores que abordam competências no ensino. Após análise dos dados coletados, verificou-se que 53% das competências relacionadas aos conhecimentos, 67% daquelas ligadas às habilidades e 87% das competências relacionadas às atitudes são desenvolvidas no curso em questão, correspondendo a 73% das competências no total. Dessa forma, foi possível perceber que existe um gap de competências. Nesse sentido, torna-se possível agir por antecipação na adoção de medidas para diminuir a lacuna identificada, contribuindo-se na preservação de um elevado nível de preparo dos pilotos de caça da Força Aérea Brasileira (FAB), futuros operadores da aeronave Gripen-NG.*

**Palavras-chave:** Competências. Gripen. Guerra eletrônica. Infrared search and track.

## 1 INTRODUCTION

The susceptibility of the Aerospace Power to technological developments is manifested in the continuous and growing need for the acquisition of state-of-the-art equipment in order to achieve strategic advantage. This demand involves the concentration of efforts by the Brazilian Air Force (FAB) in reconciling the training to use the systems acquired, thus keeping it capable of maintaining the airspace sovereignty. This understanding is supported by means of the following assertive:

[...] An essential point is the fact that transformation is associated with people, since it involves three elements and their interactions, namely: the “domain of advanced technologies”, which generate new capabilities and lead to “new concepts of operation”, diversifying and maximizing the desired effects, and the “organizational change,” which shapes the structure and redefines work processes in order to provide efficiency in the application of the means available. Therefore, the greatest transformation to be achieved by the FAB should occur in the human resources field [...]. (BRASIL, 2017, p. 29).

In this context, by means of the National Defense Strategy (END), it was defined that FAB should purchase fighter aircrafts that,

[...] gradually replace those currently used, seeking the potential standardization; the acquisition and development of armaments, and self-defense systems, aiming at self-sufficiency in their integration into the aircrafts. (BRASIL, 2008, p. 126).

As a result of this strategic planning, in October 2014, the contract of acquisition of 36 (thirty six) Gripen-NG aircrafts, called at FAB as F-39, was signed with a delivery schedule and delivery forecast of the first aircraft in 2019 and the last in 2024 (FERREIRA; JUNIOR, 2016).

The aircraft Gripen-NG incorporates advanced technology in almost all its dimensions and the beginning of the operation of this vector will cause a technological breakthrough (FERREIRA; JUNIOR, 2016).

This conceptual change can be evidenced by the diversity of new systems<sup>1</sup> that, as part of the F-39, will be incorporated to the FAB, with emphasis in the scope of the present study on those related to Electronic Warfare (EW).

In the specialized literature there are several definitions for EW, but in the FAB context, EW is understood to be the use of electromagnetic energy to destroy, neutralize or reduce enemy combat capability, seeking to take advantage of the use of the opponent's electromagnetic spectrum<sup>2</sup> and in order to ensure the efficient use of their own electromagnetic emissions (BRASIL, 2016a).

Because it deals with the use of such a broad environment, such as the electromagnetic spectrum, and because it deals with advanced technologies, it is possible to infer that, in order to correctly apply the concepts of EW, there is a need to understand a wide range of variables, involving several areas of knowledge. Notwithstanding the complexity of the topic, EW's

<sup>1</sup> The following systems can be mentioned: Active Electronic Scanning Array (AESA) radar, radar interferer, Non Cooperative Threat Recognition (NCTR), Disposable Decoy Brite Cloud, Infrared Search and Track (IRST), among others (SAAB, 2017).

<sup>2</sup> The electromagnetic spectrum includes the Radio Frequencies (RF), infrared, visible and above that of visible (ADAMY, 2004, p. 78, our translation).

strategic character makes the exchange of knowledge about the subject occur in a restricted way, to maintain the advantage on the side of those who have already developed this capability.

In this sense, as recommended by the END, it is understood that FAB must “prioritize the formation, inside and outside Brazil, in technical-scientific, military and civilian fields that allow the attainment of technological independence” (BRASIL, 2008, p. 46). Thus, in order to obtain the desired self-sufficiency, the need to develop training and training tools to improve capabilities in the field of EW is autonomously perceived, without depending only on the knowledge passed on by other Air Forces or elements outside FAB.

Therefore, in accordance with the superior guidelines, the Brazilian Air Force Command (COMAER), through DCA 11-45, Strategic Conception Air Force 100, understands that,

[...] as new capabilities are developed, or even new weapon systems are acquired and put into operation, the organization must be prepared for Air Force military and civilian personnel to acquire and maintain the necessary skills for this new reality. An effective weapon system operated by skilled and innovative staff is a very powerful set. The FAB should be able to modernize its training techniques and specialization while preserving the standards and discipline necessary to achieve the effectiveness identified in FAB’s vision for the future. (BRASIL, 2017, p. 32).

Discussing the concept of competence presented in DCA 11-45, Carbone et al. (2009) point that it is a synergistic combination of knowledge, skills and attitudes, expressed by the professional performance within a particular context of the organization. In this sense, in accordance with the definition presented by the author referenced and by drawing a parallel with the vision presented in DCA 11-45, it is verified that the FAB should enable future F-39 pilots to acquire and maintain knowledge, skills and attitudes necessary to the new reality. Mercado (2002) examines the idea in depth, including to the discussion the reflection of technology in the curriculum and competencies developed by the learning.

[...] The recognition of an increasingly technological society must be accompanied by the awareness of the need to include in the academic curriculum the skills and competencies to deal with the new technologies. In the context of a knowledge society, education requires a different approach in which the technological component cannot be ignored [...]. (MERCADO, 2002, p. 11).

Currently, the doctrinal training in the EW field of FAB operational pilots occurs through the Electronic

Warfare Doctrinal Course (CDGE), which is taught in the Group of Specialized Tactical Instruction (GITE) and its objective is,

[...] to provide basic doctrinal training for military personnel working in the area of Electronic Warfare and using systems or equipment that require doctrinal knowledge about this subject. (BRASIL, 2012, p. 8).

Reflecting about the way the training shall be planned on the competencies model, Deluiz (2001) states that the knowledge and skills acquired in the educational process should provide a practical and immediate utility, related to the organization’s objectives and mission, in order to guarantee the differential or the competitive advantage. Applying this theory in the FAB environment, it is understood that the content of the CDGE should develop competencies that have practical utility to FAB objectives.

In view of the foregoing context, it is understood that FAB pilot training planning needs to follow technological evolution and be guided by competencies in order to investigate whether the learning developed during the training of pilots in the EW area has been following the progress provided by the the Gripen-NG aircraft, the following research problem was established: to what extent does the Electronic Warfare Doctrinal Course develop the skills required for FAB fighter pilots to operate Electronic Warfare systems on the F-39 Gripen-NG aircraft?

In view of the large number of existing EW systems in the F-39, for the purpose of delimitation of this work, it has been defined that this article will deal only with the Infrared Search and Track (IRST) system.

It is possible to identify the importance of this equipment since it is able, among other functions, to follow the targets through heat emission. Thus, it becomes possible to **track**<sup>3</sup> an aircraft passively, without alerting it. Thus, the enemy will not be able to realize that it is being followed (ADAMY, 2004) and will have trouble identifying the right moment to begin evasive maneuvers to avoid armament, consisting in a relevant operational advantage.

From the problem described, the following guiding questions were established:

GQ1: What are the competencies required to operate the IRST system?

GQ 2: Which competencies required to operate the IRST system are developed in CDGE?

<sup>3</sup> Track the angle target, speed and distance, allowing the weapon to be launched.

To find a direct answer to the problem question, it was established as a General Objective of the work to analyze the correlation between the competencies developed in the CDGE and those necessary to the FAB fighter pilots to operate the IRST system.

In order to outline the actions of the present research, aiming at the achievement of the General Objective, the following Specific Objectives (SO) were defined:

SO1: identify the competencies required to operate the IRST system; and

SO2: to identify the competencies required to operate the IRST system are developed in the CDGE.

The result of the work provides support for analysis, from a prospective perspective, the pertinence of the current model of qualification, allowing a possible re-adaptation, besides serving as the beginning of the process of mapping the competencies required to operate the Gripen-NG aircraft as a whole. Thus, it is understood that there is a contribution towards the improvement in the future operation of the aircraft F-39, presenting relevance in the FAB current context.

The study can be classified as descriptive, since, when establishing an analysis between developed and required competences, it seeks to obtain and display data representative of a given situation (GIL, 2002).

Regarding the procedures used, it is classified as a documentary research, because there is a need to search the standards and guidelines that guide the CDGE, i.e., the research will be developed based on material already elaborated which has not yet received an analytical treatment. Under the same criteria, the research can also be seen as a survey because, through the application of a questionnaire, the objective was to identify the skills required to operate the IRST system by requesting information to a group of people about the problem studied in order to then, upon analysis, obtain the conclusions corresponding to the data collected (GIL, 2002).

## 2 CONTEXTUALIZATION

### 2.1 Skill management theory

The present work used as a foundation the theory of the management by competences, since it has been pointed out as an alternative managerial model to the instruments traditionally used (BRANDÃO; BAHRY, 2005).

The management by competencies proposes to,

guide efforts to plan, capture, develop and evaluate, at the different levels of the organization (individual, group and organizational), the skills necessary to achieve its objectives. (CARBONE et al., 2009, p. 50).

Carbone et al. (2009, 41) argue that in this type of management there is the implicit understanding that,

the domain of certain competencies - those rare, valuable, difficult to be developed - provide the organization a performance superior to that of its competitors [...].

In this way, it is important to verify if FAB has been training its personnel to master the skills related to the operation of (GE) EW systems and to obtain a performance superior to that of the enemy in the use of the aircraft F-39.

The term competence is observed polysemically in the literature. Thus, for the purpose of this article, the following definition was used:

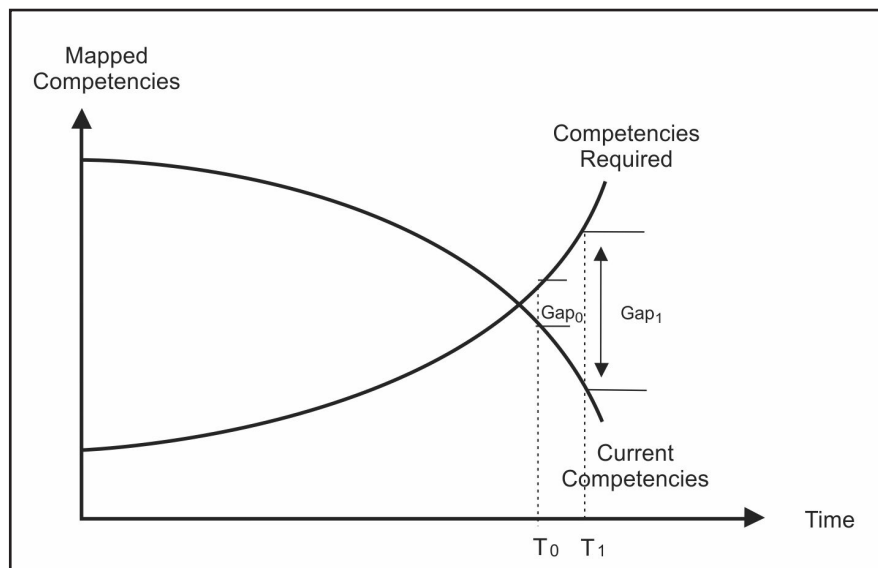
[...] human or professional competencies are understood as synergistic combinations of knowledge, skills and attitudes, expressed by the professional performance in a given context or in a certain organizational strategy. (CARBONE et al., 2005 apud BRANDÃO, BAHRY, 2005, p. 180).

Paralleling the research problem, it is observed that, under the focus of skill management theory, to operate a EW system it is necessary to synergistically combine knowledge, skills and attitudes in the conduct of the mission.

In this scenario, knowledge is defined as the knowledge that the person accumulated throughout his/her life, something related to the memory of concepts, ideas or phenomena. Skill is understood as the ability of a person to put knowledge stored in his/her memory and to use them in an action. Attitude, in its turn, is defined as the predisposition of the person, who influences his or her behavior towards others, to work or to situations (CARBONE et al., 2009).

One of the processes of competency management is mapping, which was defined by Carbone et al. (2009), the identification of the gap, or gap between the competencies needed to reach the expected performance and the competencies available in the institution. This gap tends to increase over time if the organization does not take appropriate action to mitigate this effect.

Figure 1 illustrates the one mentioned in this text.

**Figure 1** – Identification of the competency gap.

**Source:** Ienaga (1998 apud CARBONE et al., 2009).

In this sense, according to Carbone et al. (2009, p. 53), the mapping allows,

not only the identification of the gap, but also the planning of actions of development of competencies that allow to minimize this gap,

focusing on fundraising, talent identification and allocation, or on the compatibility of corporate education tools. About the subject, Carbone et al. (2009, page 72) have stated.

The subsystem of corporate education, for example, acts directly in the process of developing human competencies, promoting the socialization of existing competencies and providing the organization of learning actions that allow eliminating eventual skills gaps, as suggested by Freitas and Brandão (2006). It can also act in advance, developing today skills that will only be needed in the future.

Applying the theory presented, in this study we opted for the analysis, from the Minimum Curriculum and the Didactic Units Plan (PUD), of the competencies developed in the CDGE, a corporate education tool of the FAB, used to develop pilot skills in the EW area. In this way, it is sought to act in advance, understanding that the improvement of the content of the course can be decisive in the future operation of the IRST system of the aircraft F-39.

Bringing the relationship between curriculum and learning to the discussion, Sacristán (2013, p. 17) presented the following assertion: “From everything we know and that, in theory, can be

taught or learned, the curriculum to teach is an organized selection of contents to be learned [...]”. That is, the CDGE academic program, guided by curriculum, should define in an organized way what pilots are expected to learn.

Furthering the subject, Costa (2005) indicated that by using the notion of competency in the organization of the curriculum, it should not be dissociated from practice. In this way, the curriculum, in the point of view of the author mentioned, “should no longer define the knowledge to be taught, but rather the competencies that must be constructed” (COSTA, 2005, p. 53).

Complementing this idea, Deluiz (2001) has identified that in the competency model, the investigation of work processes and the identification of professional profiles are general indications for curriculum organization, which should be flexible.

Therefore, from the concepts presented, it is understood that the curriculum of the CDGE should be flexible and focused on practical activities, in order to adapt to the development of the intended competencies.

In addition, it is observed that the concepts of competency management and learning from the curriculum converge in the sense of seeking the qualification of the pilot to mobilize what has been studied in competences, herein defined as knowledge, skills and attitudes, making it possible to act appropriately situations you may experience during the missions.



## 2.2 Skills required to operate the IRST aircraft F-39 system

In order to enumerate the competencies necessary to operate the Gripen aircraft IRST system, the Delphi Method was used.

According to Cardoso et al. (2005), the Delphi Method has been one of the 286 most used instruments in the completion of prospective studies. Wright and Giovinazzo (2000) present Delphi as a technique 288 that seeks to establish a consensus of opinions in a group of 289 experts on future events.

According to Wright and Giovinazzo (2000), the advantages of the Delphi Method can be listed as the possibility of making predictions in situations of lack of historical data and anonymity in the answers, eliminating the influence of factors such as the respondent's academic or professional status, or his/her ability to speak, in the consideration of the validity of their arguments.

On the other hand, the same authors also present as disadvantages and limitations of the tool the statistically unacceptable treatment and the excessive dependence of the results regarding the selection of the specialists, with the possibility of introduction of bias by the choice of the respondents.

Regarding the limitations mentioned, Wright and Giovinazzo (2000, page 64),

[...] the Delphi Method does not intend to make a statistically representative survey of the opinion of a particular group, essentially referring to a limited and select group of specialists who, through their logical reasoning ability, their experience and objective exchange of information seeks to arrive at joint opinions on the proposed issues, not applying statistical validity of the sample in this situation.

Given the points presented, the Delphi Method has shown to be the most appropriate for the study in question, considering that it was intended to obtain a projection, through the professional experience and reasoning ability of the selected experts, in a scenario without historical data, of the future need for pilot training, without aspiration of statistical validity.

Regarding the selection of specialists, Cardoso et al. (2005, page 68) have stated:

[...] profound knowledge of the subject, whether by academic training/specialization, or by experience of acting in the field in question. Depending on the subject and research objectives, the participation of specialists from different backgrounds and areas of expertise is even recommended.

Based on the above description, for the present study, those with experience in first-class aircraft<sup>4</sup> and knowledge in the area of EW were selected as specialists within the universe of fighter pilots. The selected group had 3 experimental test pilots, experienced in all front-line aircraft of FAB and in others abroad, 2 Gripen C/D<sup>5</sup> pilots and 3 A-1 pilots, all of whom have the CDGE and 5 are trained in the Specialization Course in Electromagnetic Environment Analysis<sup>6</sup>.

Based on the assumption that the knowledge about EW and the operation of first-line fighter aircraft were common points, the diversification of the type of piloted aircraft was aimed at allowing the different professional experiences of the selected ones to complement each other in the search for consensus on the subject, greater robustness to the result and attenuating the possibility of introduction of bias in the research.

The questionnaires were applied through Google® Forms. In the first series of questions, it was sought to establish, in the view of the experts, what are the competencies necessary for an FAB fighter pilot to operate the IRST. In the conclusions of Carbone et al. (2009), the competencies were broken down into three categories of analysis, already described in the previous section, namely: knowledge, skills and attitudes.

The answers of the first questionnaire were used in an examination, aiming to eliminate ambiguities, repetitions and (or) inaccuracies, to elaborate the second questionnaire, which sought to analyze the consensus among the specialists. This questionnaire presented 17 knowledge items, 16 skills and 23 attitudes, which were analyzed by the same specialists, to verify the level of agreement. In the present work, it was considered acceptable when the coefficient of concordance (Cc) presented values  $Cc \geq 60\%$ , following the one proposed by Santos (2001).

<sup>4</sup> 1<sup>st</sup> line of the fighter aviation refers to the following Units: 1<sup>st</sup> GDA, 1<sup>st</sup> GAVCA, 1<sup>st</sup>/4<sup>th</sup> GAV and 1<sup>st</sup>/14<sup>th</sup> GAV, operating the aircraft F-5M, in addition to the 1<sup>st</sup>/10<sup>th</sup> GAV and 3<sup>rd</sup>/10<sup>th</sup> GAV operating the aircraft A-1 and A-1M (BRASIL, 2016b). In the future, the F-39 Operator Units will comprise this Group.

<sup>5</sup> Version prior to Gripen-NG.

<sup>6</sup> *Lato Sensu* Specialization Course ministered at the Brazilian Aeronautical Institute of Technology (ITA). A prerequisite to this is to have completed the CDGE (BRASIL, 2015a).

According to the author mentioned, this coefficient is determined according to Equation 1.

$$C_c = (1 - V_n/V_t) \times 100 \quad (1)$$

Where,

$C_c$  = Coefficient of concordance expressed as a percentage;

$V_n$  = Number of specialists in disagreement with

the predominant criterion; and  
 $V_t$  = Total number of specialists.

In response to the second questionnaire, it was found that all the skills indicated by the specialists reached a level of agreement equal to or greater than 60%. Tables 1, 2 and 3 present the skills enumerated by the experts, with their respective coefficients of concordance.

**Table 1 – Knowledge.**

Code	Description of competencies	Cc
C1	Know the basic foundations, operating principle and capabilities of an IRST system.	100%
C2	Know the characteristics and propagation properties of the emissions in the IR range.	100%
C3	Know the main Electronic Attack Measures (jamming) applicable against an IRST system.	100%
C4	Know the main limitations of an IRST system.	100%
C5	Know the types of electromagnetic emission used by current vectors, both friendly and enemy sources, mainly those of South America.	87,5%
C6	Know the influence of atmospheric variables (clouds, rain, etc.) on the propagation of IR radiation and on the performance of the IRST system.	100%
C7	Know the advantages and disadvantages of using IRST versus Radar for detection and target engagement in the air combat environment.	100%
C8	Know the vulnerabilities and advantages of using the IRST system against a real threat in South America.	100%
C9	Know the advantages and disadvantages of using passive detection equipment.	87,5%
C10	Know the different characteristics of Infrared emission of fighter aircraft engines (pure jet, turbofan, etc.) and other vectors (propeller aircraft, helicopters, etc.).	87,5%
C11	Know the basic foundations and limitations of an IRST system.	100%
C12	Know the basic concepts of propagation.	100%
C13	Know the basic concepts of Electronic Warfare.	87,5%
C14	Know the tactics of using passive sensors.	87,5%
C15	Know the divisions and characteristics of the electromagnetic spectrum.	87,5%
C16	Know how the images/plots of the detection IRST are produced until their interface with the pilot.	62,5%
C17	Know the limitations of integration between the subsystems of the aircraft in order to detect possible limitations in the use of the aircraft in the air combat environment.	87,5%

**Source:** The author.

**Table 2 – Skills.**

Code	Description of competencies	Cc
H1	Identify if the atmospheric condition allows the use of theIRST system.	100%
H2	Analyze whether the operation of theIRST system matches the theory, properly identifying a malfunction.	100%
H3	Calculate, in an estimated way, the effectiveness (maximum range/minimum signal level for monitoring, etc.) of theIRST system.	100%
H4	Identify in real time the possible limitations of theIRST system and apply mitigating measures (Eg: change of sensor to RADAR).	100%
H5	Evaluate and plan the conditions for combined or isolated employment of theIRST system.	100%
H6	When there are threats in the scenario, be effective in choosing the appropriate sensor (RADAR/IRST).	100%
H7	Identify possible restrictions of theIRST system on visual identification measures.	87,5%
H8	Define the best doctrines of employment of theIRST system.	75%
H9	Operate theIRST system, together with other aircraft systems, correctly and efficiently in order to gain tactical advantage.	100%
H10	Interpret correctly the forms of presentation of images/plots of the targets and their variations according to the conditions of radiation and atmosphere.	100%
H11	Interpret the occurrence of Electronic Attack (jamming) against theIRST system.	100%
H12	Identify your target correctly using theIRST system within a complex multi-aircraft scenario ( <b>TARGETING</b> and <b>SORTING</b> ).	100%
H13	Recognize and identify the existence of false targets.	100%
H14	Recognize and identify the presence of friendly forces (wings, friendly attacking forces, etc.).	100%
H15	Plan and analyze possible results expected of using theIRST system.	87,5%
H16	Maneuver appropriately for greater effectiveness in the use of theIRST system.	100%

Source: The author.

**Table 3 – Attitudes.**

(to be continued)

Code	Description of competences	Cc
A1	Appreciate the EW courses within the scope of the FAB.	100%
A2	Appreciate the knowledge of Electronic Warfare as a multiplying factor of combat capacity.	100%
A3	Take the initiative to acquire knowledge about the capabilities of Electronic Attack Measures (jamming) and reduction of enemy signature.	100%
A4	Appreciate the knowledge about EW equipment that could degrade the use of theIRST.	100%

		(conclusion)
A5	Appreciate the study of the IRST system.	100%
A6	Seek to be aware on new IR detection technologies.	100%
A7	Encourage the use of EW systems available in the UAE.	100%
A8	Encourage the study and development of EW in the Air Unit.	100%
A9	Understand the importance of EW 's basic knowledge for operation of embedded systems.	100%
A10	Appreciate the need for a FAB Electronic Warfare stand for the study and development of a doctrine directed toward EW actions.	100%
A11	Recognize the importance of the Operational Evaluation (AVAOP) in periodic operational processes.	75%
A12	Seek to keep knowledge up to date with new possibilities and technologies.	100%
A13	Be willing to put the knowledge and skills developed into practice after the study of the equipment.	100%
A14	Be aware of any discrepancy or abnormal behavior of the IRST system in order to manage knowledge and identify limitations.	100%
A15	Encourage the Development of tactics in conjunction with other equipment and aircraft in order to utilize capacity in favor of other aircraft.	100%
A16	Appreciate the study of the systems of the aircraft to obtain the best performance of the equipment.	100%
A17	Appreciate the execution of operational exchanges with Air Forces operating IRST and other EW systems.	100%
A18	Encourage the development and practice of new tactics based on the use of EW equipment, especially IRST.	100%
A19	Seek innovative thinking in the operational area.	100%
A20	Take the initiative to develop tactics with the IRST system associated with datalink and radar for the air combat environment.	100%
A21	Recognize the importance of the existence of technicians (specialists and engineers) as a means of operational support.	87,5%
A22	Appreciate, in the same proportion, his/her own theoretical knowledge of the equipment and his/her own previous experience as a fighter pilot.	75%
A23	Appreciate the use of intelligence principles and information safeguards in EW knowledge management.	100%

**Source:** The author.

### 2.3 Skills developed in CDGE

In order to reach OE2, according to the concepts presented by Sacristán (2013) and other refereed authors, and in order to identify the necessary skills that are developed during the course, an analysis of the norms that govern the implementation of the CDGE was carried out by means of documentary research on the content of the Didactic Units Plan (PUD) and the Minimum Curriculum (ICA 37-507). This

research was implemented by direct contact with the GITE and access to the FAB repository of laws, on the electronic site of the Aeronautical Documentation Center.

It should be noted that it was not possible to identify the competencies developed by the students after the course. Thus, the present study considered, for the purposes of analysis, that the approved students develop the competencies that are proposed in the program content, consisting of a limitation of the research.

### 3 PRESENTATION AND ANALYSIS OF RESULTS

After completing the application of the Delphi Method, 56 competencies were indicated by the specialists, subdivided into 17 knowledge items, 16 skills and 23 attitudes. These competencies were mainly correlated with the PUD, since it is more detailed in the description of the content and because it indicates the operational objectives of each discipline (BRASIL, 2015b), as indicated in Table 4.

Initially, it was identified that among the 17 knowledge items listed by the specialists, 8 are taught in the CDGE.

Thus, it is noticed that 47% of the expertise indicated by the specialists as necessary to operate the Gripen-NG IRST system are developed in the CDGE.

Upon further analysis, it was possible to observe that knowledge items C16 and C17 are totally dependent on the interaction with the aircraft Gripen-NG. Also, since the CDGE is not intended to enable the pilot in the operation of the aircraft, the aforementioned knowledge item, considered as specific, was disregarded in the scope of the present work. Therefore, there was a 53% relationship between the knowledge needed to operate the Gripen-NG IRST and those ministered in the CDGE.

Subsequently, it was identified that among the 16 skills listed by specialists, 2 are developed in CDGE, totaling 12.5%.

On the subject, similar to what happened with the knowledge, but in a more ostentatious way, the experts indicated 13 skills (H4 thru H16) directly dependent on the aircraft. Such a result

is understandable, since, as already mentioned in this article, the ability was considered as the capacity of a person to put knowledge stored in his/her memory and to use it in an action. Therefore, it is consistent that the experts indicate as necessary skills that involve the execution of the flight itself.

However, "Developing skills is not like being content by having followed a program, but rather by not stopping it from building and testing" (PERRENOUD, 1999, p. 79). In this way, it is important to understand that the competency development process does not terminate at the end of a single theoretical course, since it must be continually improved in the operational units.

In order to maintain the established focus on the research problem, only the skills indicated by the experts that do not depend on the execution of the flight were considered. Therefore, there was a 67% ratio between the skills needed to operate the Gripen-NG IRST and those developed in the CDGE.

Finally, it was identified that in the PUD and Minimum Curriculum of the CDGE there are very broad and generic teaching objectives focused on the field of attitudes, namely:

- a) to be aware of the importance of Electronic Warfare as a multiplying factor in the combat capability of the Air Force and the importance of the dissemination of the doctrine established by COMGAR;
- b) to train entrepreneurial professionals with the capacity to promote the doctrinal and operational development of the Air Force; and
- c) to foster the development of critical thinking and technical knowledge to evaluate the use of airborne vectors in the light of Electronic Warfare doctrine, implementing appropriate solutions for the operational development of the (FAB). (BRASIL, 2012, p. 8).

**Table 4** – Correlation of competences.

Required skills	CDGE Disciplines
C2, C6, C10, H1	Electro-optics (infrared).
C9	Use of passive detection equipment.
C11, C13, H3	Fundamentals of Electronic Warfare.
C12	Basic Concepts of Electronic Warfare.
	Propagation.
	Electromagnetic waves.
C15	Division of Electronic Warfare.
C1, C3 to C8, C14, C16, C17, H2, H4 to H16, A21 to A23	Not addressed.
A1 to A20	All subjects (general objective of the course).

**Source:** The author.

The scope of these topics is highlighted by the fact that these are general objectives of the course to be pursued at the end of all disciplines. As indicated by Carbone et al. (2009), attitude is the predisposition of the person to perform the action, related to **wanting to do**. Therefore, it was considered that, once the pilot develops the attitudes mentioned as general objectives of the course, he/she will consequently develop other more specific attitudes, arising from these principals. Thus, it was noticed that 20 attitudes reported by specialists as necessary are developed in CDGE (A1 to A20, inclusive), corresponding to 87% of the total indicated.

In summary, it was possible to observe that the CDGE develops 30 competencies pointed out by specialists as necessary to operate the IRST of the aircraft F-39 (8 knowledge, 2 skills and 20 attitudes). Considering the reservations presented in the analysis in relation to the dependent competencies of the aircraft, it is realized that 41 competencies are necessary (15 knowledge, 3 skills and 23 attitudes). Therefore, a percentage ratio between the totals developed and required is applied, and a 73% correspondence is observed, according to Table 1.

Using the theory presented by Carbone et al. (2009), it was possible to identify that there is a competence gap, mainly due to the inclusion of a new technological component in the process, the aircraft Gripen-NG. According to the authors cited, the organization FAB must seek ways to reduce this gap to the minimum possible and thus remain competitive, which, in the case of an Air Force, can be understood as preserving an equivalent operational capacity or higher than the threats.

It was noticed that, when conducting an analysis from the perspective of competence management, it was possible to identify a training gap in relation to the future need of FAB in the operation of the IRST in the aircraft Gripen-NG, which makes a corrective action feasible and by anticipation, in order to minimize or eliminate this gap, contributing to the preservation of a high level of training of FAB fighter pilots, future operators of the aircraft Gripen-NG.

The results also allow us to identify that, in the spite of a gap, the CDGE collaborates in improving the knowledge, skills and attitudes necessary for the operation of the IRST, since it develops 73% of the skills that are considered fundamental by the specialists. Consequently, it is understood that, regardless of any action to minimize the identified skill gap, there should be an effort to enable all future F-39 pilots to attend the CDGE before operating the aircraft's IRST system.

In addition, according to the theories presented by Costa (2005), Deluiz (2001) and Sacristán (2013), knowing the desired professional profile of the pilot (necessary skills), there is an indication of how the content of CDGE and other related courses can be improved if they are equated with the practices required by the fighter pilot to operate the various aircraft F-39 systems in the light of the competency model.

#### 4 CONCLUSION

This work was motivated by the concern about the acquisition of the aircraft Gripen-NG by FAB, as it will bring with it a series of technological innovations, especially in the area of Electronic Warfare EW, which will require a high level of training by the pilots.

In this sense, the author tried to investigate, based on the concepts of management by competences, if the learning developed during the training of the pilots in the area of EW has followed the progress provided by the acquisition of the aircraft Gripen-NG.

To this end, the following research problem was stated: to what extent does the Electronic Warfare Doctrine Course develop the skills required by FAB fighter pilots to operate Electronic Warfare systems on the aircraft F-39 Gripen-NG?

Based on this questioning, it was decided to limit the study to the IRST system and presented, as a general objective of this work, to analyze the correlation between the competencies developed in the course and those necessary for the pilots to operate the referred system. In

**Table 1** – Summary of results by analysis categories.

Competences	Developed	Needed	Percentage ratio
Knowledge	8	15	53%
Skills	2	3	67%
Attitudes	20	23	87%
Total	30	41	73%

**Source:** The author.

order to respond to the research problem and to achieve the general objective of this article, two guiding questions and two specific objectives were presented. The first one SO1 sought to identify the competencies needed to operate theIRST system. The second one SO2 had the purpose of identifying if the necessary competencies to operate theIRST system are developed in the CDGE.

Initially, to achieve the SO1, a survey was performed using the Delphi method, in two series, in which a group of 8 specialists listed the necessary competences. Subsequently, to achieve SO2, a documentary research was carried out, through the analysis of the PUD and the Minimum Curriculum of the CDGE, in which the

necessary competencies developed in the course were identified.

Thus, through the analysis of the results obtained during the work, it was possible to respond to the research problem and to verify that 73% of the competencies required to operate the aircraft F-39IRST system are developed in the CDGE, divided into 53% knowledge, 67% of skills and 87% of attitudes.

Finally, as a proposal for future work, it is suggested to map the competencies needed to operate other relevant systems of the aircraft Gripen-NG and to verify if the previous students of the CDGE actually develop the competencies foreseen in the program content.

## REFERENCES

ADAMY, D. **EW 102**: a second course in electronic warfare. [S.l.]: Artech House, 2004.

BRANDÃO, H. P.; BAHRY, C. P. Gestão por competências: métodos e técnicas para mapeamento de competências. **Revista do Serviço Público**, Brasília, v. 56, n. 2, p. 179-194, abr./jun. 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.enap.gov.br/handle/1/1504>> Acesso em: 4 mar. 2017.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando-Geral de Operações Aéreas. Portaria COMGAR nº 318/GC3, de 28 de março de 2016. Aprova a reedição das Normas reguladoras da Progressão Operacional de Oficiais Aviadores da Força Aérea Brasileira(ICA 55-6). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 56, f. 2784, 4 abr. 2016b.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Comando-Geral de Operações Aéreas. Portaria COMGAR nº 49/SCAP-17, de 17 de fevereiro de 2012. Aprova a edição do Currículo Mínimo do Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica (ICA 37-507). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 62, f. 1991, 17 fev. 2012.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial. Portaria DCTA nº 103/DNO, de 16 de abril de 2015. Aprova a reedição das Normas reguladoras do Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (ICA 37-581). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 76, f. 3306, 24 abr. 2015a.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Gabinete do Comandante da Aeronáutica. Portaria GABAER nº 189/GC3, de 30 de janeiro de 2017. Aprova a primeira modificação da Concepção Estratégica Força Aérea 100 (DCA 11-45). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 18, f. 1058, 1 fev. 2017.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Grupo de Instrução Tática e Especializada. **Apostila do Curso Doutrinário de Guerra eletrônica**: divisões da Guerra Eletrônica. Parnamirim, RN: [s.n.], 2016a. 11f.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Grupo de Instrução Tática e Especializada. **Plano de Unidades Didáticas do Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica**. Parnamirim, RN: [s.n.], 2015b. 42f.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <[http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado\\_e\\_defesa/END-PND\\_Optimized.pdf](http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/END-PND_Optimized.pdf)> Acesso em: 4 mar. 2017.

CARBONE, P. P. et al. (Org.). **Gestão por competências e gestão do conhecimento**. 3.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2009.

CARDOSO, L R. A. et al. Prospecção de futuro e Método Delphi: uma aplicação para a cadeia produtiva da construção habitacional. **Revista Ambiente Construído**, Rio Grande do Sul, v. 5, n 3, p. 63-78, abr./jun. 2005. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3650/2008>> Acesso em: 4 mar. 2017.

COSTA, T. A. A noção de competência enquanto princípio de organização curricular. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 52-62, ago. 2005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-24782005000200005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782005000200005&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 21 abr. 2017.

DELUIZ, N. O modelo das competências profissionais no mundo do trabalho e na educação: implicações para o currículo. **Boletim Técnico do SENAC**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 13-25, 2001.

FERREIRA, M. J. B.; JUNIOR, C. N. A incursão do Brasil no segmento de aviões de caça da indústria aeronáutica militar: o projeto F-X2. ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DE DEFESA, 9., 2016. **Anais Eletrônicos...** Florianópolis, 2016. Disponível em: [http://wwabw.ened2016.abedef.org/resouces/anais/3/1466389753\\_ARQUIVO\\_Ferreira\\_Marcos\\_IXENABED\\_AT1\\_Artigo.VF.pdf](http://wwabw.ened2016.abedef.org/resouces/anais/3/1466389753_ARQUIVO_Ferreira_Marcos_IXENABED_AT1_Artigo.VF.pdf). Acesso em: 4 mar. 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MERCADO, L. P. L. (Org.). **Novas tecnologias na educação**: reflexões sobre a prática. Maceió: EDUFAL, 2002.

PERRENOUD, P. **Construir as competências desde a escola**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

SAAB. **Informações institucionais**. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://www.saab.com/pt/air/gripen-fighter-system/gripen/gripen.com/Orgulho-de-ser-Brasileiro/o-gripen-para-o-Brasil/>. Acesso em: 4 mar. 2017.

SACRISTÁN, J. G. (Org.). **Saberes e incertezas sobre o currículo**. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, A. C. O uso do método Delphi na criação de um modelo de competências. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 36. n. 2. p. 25-32, abr./jun. 2001.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi – Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 12, 2. trim. 2000. Disponível em: <http://regeusp.com.br/arquivos/C12-art05.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2017.



# Competencias del piloto de caza de la Fuerza Aérea Brasileña para operar sistemas de Guerra Electrónica de la aeronave Gripen-NG: una visión prospectiva

*Competencies of the Brazilian Air Force fighter pilot to operate Electronic Warfare systems of the Gripen-NG aircraft: a prospective view*

*Competências do piloto de caça da FAB para operar sistemas de Guerra Eletrônica da aeronave Gripen-NG, uma visão prospectiva*

Felipe Luis de Oliveira Vilela<sup>1</sup>

## RESUMEN

Este trabajo se destina a analizar en qué medida el Curso Doctrinario de Guerra Electrónica (CDGE), impartido por el Grupo de Instrucción Táctica Especializada (GITE), desarrolla las habilidades requeridas para pilotos de caza de la FAB (Fuerza Aérea Brasileña) para operar el sistema de Búsqueda por Infrarrojo y Rastreo (en inglés *Infrared Search and Track* (IRST) de la aeronave Gripen-NG. Se identificaron, por medio de investigación documental del contenido didáctico del CDGE, las competencias desarrolladas en dicho curso. Las competencias necesarias para operar el sistema (IRST) fueron caracterizadas por medio de la aplicación del Método Delphi. La investigación y el análisis fueron delineados utilizando la fundamentación teórica presentada por Carbone et al. (2009) sobre gestión por competencias y el preconizado por Sacristán (2013), Perrenoud (1999) y otros autores que abordan competencias en la enseñanza. Después del análisis de los datos recolectados, se verificó que el 53% de las competencias relacionadas con los conocimientos, el 67% de las ligadas a las habilidades y el 87% de las competencias relacionadas con las actitudes se desarrollan en dicho curso, correspondiendo al 73% de las competencias en total. Por lo tanto, fue posible percibir que hay un hueco (*gap*) de competencias. En este sentido, se hace posible actuar por anticipado en la adopción de medidas para disminuir la brecha identificada, contribuyendo en la preservación de un alto nivel de preparación de los pilotos de caza de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB), futuros operadores de la aeronave Gripen-NG.

**Palavras clave:** Competencias. Gripen. Guerra electrónica. *Infrared search and track*.

## ABSTRACT

*This work aims to analyze to which extent the Electronic Warfare Doctrinaire Course (EWDC), conducted by the Group of Specialized Tactical Instruction (GITE), develops the skills required for Brazilian Air Force (FAB) fighter pilots to operate the Infrared Search and Track (IRST) system of the Gripen-NG aircraft. Through the documentary research of the educational content of CDGE, the competencies developed in the mentioned course were identified. The skills required to operate the system (IRST), but its turn, were characterized by the application of the Delphi Method. The research and analysis were outlined using the theoretical basis presented by Carbone et al. (2009) about skill management and the proposed by Sacristán (2013), Perrenoud (1999) and other authors who address education competencies. By following the analysis of the data collected, it was noted that 53% of the competencies related to knowledge, 67% of those related to skills and 87% of the competencies related to the attitudes are developed in the course in question, corresponding to 73% of the competencies in total. Thus, it was possible to notice that there is a gap of competencies. In this sense, it is possible to act ahead in the adoption of measures to reduce the gap identified, contributing to the maintenance of a high-level training of the Brazilian Air Force (BAF) fighter pilots, future operators of Gripen-NG aircraft.*

**Keywords:** Competencies. Gripen. Electronic warfare. *Infrared search and track*.

I. Tercer Escuadrón del Décimo Grupo de Aviación (3º/10º de GAv) – Santa Maria/RS – Brasil. Capitán Aviador de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB). Email: vilelaflov@fab.mil.br

Recibido: 22/08/17

Aceptado: 04/05/18

## RESUMO

*Este trabalho se destina a analisar em que medida o Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica (CDGE), ministrado pelo Grupo de Instrução Tática Especializada (GITE), desenvolve as competências necessárias aos pilotos de caça da FAB para operar o sistema Infrared Search and Track (IRST) da aeronave Gripen-NG. Foram identificadas, por meio de pesquisa documental do conteúdo didático do CDGE, as competências desenvolvidas no referido curso. Já as competências necessárias para operar o sistema (IRST) foram caracterizadas por meio da aplicação do Método Delphi. A pesquisa e análise foram delineadas utilizando-se a fundamentação teórica apresentada por Carbone et al. (2009) sobre gestão por competências e o preconizado por Sacristán (2013), Perrenoud (1999) e outros autores que abordam competências no ensino. Após análise dos dados coletados, verificou-se que 53% das competências relacionadas aos conhecimentos, 67% daquelas ligadas às habilidades e 87% das competências relacionadas às atitudes são desenvolvidas no curso em questão, correspondendo a 73% das competências no total. Dessa forma, foi possível perceber que existe um gap de competências. Nesse sentido, torna-se possível agir por antecipação na adoção de medidas para diminuir a lacuna identificada, contribuindo-se na preservação de um elevado nível de preparo dos pilotos de caça da Força Aérea Brasileira (FAB), futuros operadores da aeronave Gripen-NG.*

**Palavras-chave:** Competências. Gripen. Guerra eletrônica. Infrared search and track.

## 1 INTRODUCCIÓN

La susceptibilidad del Poder Aeroespacial a las evoluciones tecnológicas se manifiesta en la continua y creciente necesidad de adquisición de equipos de última generación, con el objetivo de obtener una ventaja estratégica. Esta demanda implica concentración de esfuerzos de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB) en compatibilizar la preparación para emplear los sistemas adquiridos, manteniéndose así capacitada para el mantenimiento de la soberanía del espacio aéreo. Este entendimiento es corroborado por medio de la siguiente asertiva:

[...] Un punto esencial es el hecho de que la transformación está asociada a las personas, pues involucra tres elementos y sus interacciones, a saber: el “dominio de tecnologías avanzadas”, que generan nuevas capacidades y que llevan a “nuevos conceptos de operación”, diversificando y maximizando los efectos deseados, y el “cambio organizacional”, que moldea la estructura y redefine procesos de trabajo, de suerte a proporcionar eficiencia en la aplicación de los medios disponibles. Por lo tanto, la mayor transformación a ser conquistada por la FAB deberá ocurrir en el campo de los recursos humanos [...]. (BRASIL, 2017, p. 29).

En ese contexto, por medio de la Estrategia Nacional de Defensa (END), se definió que la FAB debía adquirir aeronaves de caza que,

[...] sustituyan paulatinamente, a las hoy existentes, buscando la posible estandarización; la adquisición y el desarrollo de armamentos, y sistemas de autodefensa, objetivando la autosuficiencia en la integración de éstos a las aeronaves. (BRASIL, 2008, p. 126).

Como resultado de esta planificación estratégica, en octubre de 2014 se firmó el contrato de adquisición de 36 (treinta y seis) aeronaves Gripen-NG, denominadas en la FAB como F-39, con un cronograma de recepción y previsión de entrega de la primera aeronave en 2019 y la última en 2024 (FERREIRA; JUNIOR, 2016).

La aeronave Gripen-NG incorpora tecnología avanzada en prácticamente todas sus dimensiones y el inicio de la operación de ese vector ocasionará una ruptura tecnológica (FERREIRA, JUNIOR, 2016).

Este cambio conceptual puede ser evidenciado por la diversidad de nuevos sistemas<sup>1</sup> que, estando presentes en el F-39, se incorporarán a la FAB, especialmente en el contexto de este trabajo, a los relacionados con la guerra electrónica (GE).

En la literatura especializada existen varias definiciones de GE, pero, en el contexto de FAB, se entiende como GE el uso de energía electromagnética para destruir, neutralizar o reducir la capacidad de combate del enemigo, tratando de tomar ventaja de la utilización del espectro electromagnético<sup>2</sup> por el adversario y con el fin de asegurar el empleo eficiente de las emisiones electromagnéticas propias (BRASIL, 2016a).

Por tratarse del uso de un ambiente tan amplio, como el espectro electromagnético, y por lidiar con tecnologías avanzadas, es posible inferir que, para aplicar correctamente los conceptos de GE, se necesita comprender una gran gama de variables, involucrando diversas áreas del conocimiento. A pesar de la complejidad del tema, el carácter estratégico de

<sup>1</sup> Se pueden citar los siguientes sistemas: *Active Electronic Scanning Array* (AESA) radar interferidor, *Non Cooperative Threat Recognition* (NCTR), *Decoy* desechable *Brite Cloud*, *Infrared Search and Track* (IRST), entre otros (SAAB, 2017).

<sup>2</sup> El espectro eletromagnético incluye las Frecuências de Radio (RF), infrarrojo, visible y acima del visible (ADAMY, 2004, p. 78, nuestra traducción).

GE hace que el intercambio de conocimientos sobre el tema ocurra de manera restringida, como forma de mantener la ventaja del lado de quien ya desarrolló esa capacidad.

En este sentido, según lo preconizado por medio de la END, se entiende que la FAB debe “priorizar la formación, dentro y fuera de Brasil, de los cuadros técnico-científicos, militares y civiles, que permitan alcanzar la independencia tecnológica” (BRASIL, 2008, p.46). De esta forma, para obtener la autosuficiencia anhelada, se hace perceptible la necesidad de desarrollar herramientas de capacitación y entrenamiento para perfeccionar las capacidades en el área de GE de forma autónoma, sin depender apenas de los conocimientos repasados por otras Fuerzas Aéreas o elementos externos a la FAB.

De esta forma, en consonancia con las directrices superiores, el Comando de la Aeronáutica (COMAER), por medio de la DCA 11-45, Concepción Estratégica Fuerza Aérea 100, entiende que,

[...] à medida que novas capacidades são desenvolvidas, ou mesmo novos sistemas de armas são adquiridos e colocados em operação, a organização deve estar preparada para que os militares e civis da Força Aérea adquiram e mantenham as competências necessárias para esta nova realidade. Um sistema de arma eficaz operado por pessoal qualificado e com visão inovadora é um conjunto muito poderoso. A FAB deve ser capaz de modernizar suas técnicas de formação, especialização, preservando as normas e disciplina necessárias para alcançar a eficácia identificada na visão da FAB para o futuro. (BRASIL, 2017, p. 32).

Discutiendo el concepto de competencia, presentado en la DCA 11-45, Carbone et al. (2009) indican que se trata de una combinación sinérgica de conocimientos, habilidades y actitudes, expresadas por el desempeño profesional dentro de un determinado contexto de la organización. En este sentido, de acuerdo con la definición presentada por el autor referenciado y trazando un paralelo con la visión presentada en la DCA 11-45, se verifica que la FAB debe posibilitar que los futuros pilotos de F-39 adquieran y mantengan conocimientos, habilidades y actitudes necesarios para la nueva realidad. Mercado (2002) profundiza la idea, incluyendo a la discusión el reflejo de la tecnología en los currículos y las competencias desarrolladas por el aprendizaje.

[...] El reconocimiento de una sociedad cada vez más tecnológica debe acompañarse de la concientización de la necesidad de incluir en los currículos escolares las habilidades y competencias para lidiar con las nuevas tecnologías. En el contexto de una sociedad del conocimiento, la educación exige un enfoque diferente en el que el componente tecnológico no puede ignorarse [...]. (MERCADO, 2002, p. 11).

En la actualidad, la capacitación doctrinal en el área de GE de los pilotos operativos de la FAB ocurre a través del Curso Doctrinario de Guerra Electrónica (CDGE), que se imparte en el Grupo de Instrucción Táctica Especializada (GITE) y tiene como objetivo,

[...] proporcionar la formación básica doctrinal para los militares que actúan en el área de Guerra Electrónica y que utilicen sistemas o equipos que requieran conocimiento doctrinal sobre ese tema. (BRASIL, 2012, p. 8).

Reflexionando acerca de cómo la capacitación debe planificarse en el modelo de competencias, Deluiz (2001) afirma que los conocimientos y las habilidades adquiridos en el proceso educativo deben tener una utilidad práctica e inmediata, relacionada con los objetivos y misión de la organización, para asegurar de ese modo el diferencial o la ventaja competitiva. Aplicando esa teoría en el ambiente de la FAB, se entiende que el contenido del CDGE debe desarrollar competencias que presenten utilidad práctica a los objetivos de la FAB.

Ante el contexto expuesto, entendido que la planificación de la capacitación de los pilotos de la FAB necesita acompañar la evolución tecnológica y debe ser orientada por las competencias, a fin de investigar si el aprendizaje desarrollado durante la formación de los pilotos en el área de GE ha seguido el progreso proporcionado por la adquisición de la aeronave Gripen-NG, se estableció el siguiente problema de investigación: ¿en qué medida el Curso Doctrinario de Guerra Electrónica desarrolla las competencias necesarias a los pilotos de caza de la FAB para operar sistemas de Guerra Electrónica de la aeronave F-39 Gripen-NG?

De cara a la gran cantidad de sistemas existentes de GE F-39, para fines de delimitar el trabajo, se decidió que este artículo abordará sólo el sistema *Infrared Search and Track* (IRST).

Es posible identificar la importancia de dicho equipo pues el mismo es capaz de, entre otras funciones, realizar el seguimiento de blancos por medio de la emisión de calor de los mismos. De este modo, se hace posible **traquear**<sup>3</sup> una aeronave pasivamente, sin alertarla. Por lo tanto, el enemigo tendrá dificultades para percibir que está siendo acompañado (ADAMY, 2004) y tendrá problemas en identificar el momento oportuno de iniciar las maniobras evasivas para evitar el armamento, consistente en una ventaja operacional relevante.

A partir del problema descrito se establecieron las siguientes cuestiones orientadoras:

<sup>3</sup> Acompañar el blanco en ángulo, velocidad y distancia, lo que permite el lanzamiento de armas.

CN1: ¿Cuáles son las competencias necesarias para operar el sistema IRST?

CN2: ¿Qué competencias necesarias para operar el sistema IRST se desarrollan en el CDGE?

Como forma de encontrar una respuesta directa a la cuestión-problema, se estableció como Objetivo General del trabajo analizar la correlación entre las competencias desarrolladas en el CDGE y aquellas necesarias a los pilotos de caza de la FAB para operar el sistema IRST.

A fin de delinear las acciones de la presente investigación, con el objetivo de alcanzar el Objetivo General, se definieron los siguientes Objetivos Específicos (OE):

OE1: identificar las competencias necesarias para operar el sistema IRST; y

OE2: identificar qué competencias necesarias para operar el sistema IRST se desarrollan en el CDGE.

El resultado del trabajo proporciona subsidios para análisis, a partir de una visión prospectiva, de la pertinencia del modelo actual de capacitación, posibilitando una eventual readecuación, además de servir como inicio del proceso de mapeo de las competencias necesarias para operar la aeronave Gripen-NG en su conjunto. De esta forma, se entiende que hay una contribución en el sentido de buscar el perfeccionamiento en la futura operación de la aeronave F-39, presentando relevancia en el contexto actual de la FAB.

El estudio puede ser clasificado como descriptivo, pues, al establecer un análisis entre las competencias desarrolladas y las necesarias, busca la obtención y exposición de datos representativos de determinada situación (GIL, 2002).

En cuanto a los procedimientos empleados, se clasifica como investigación documental, por haber necesidad de búsqueda a las normas y directrices que orientan el CDGE, o sea, la investigación será desarrollada con base en material ya elaborado que aún no ha recibido un tratamiento analítico. En el mismo criterio, la investigación también puede ser vista como levantamiento porque, a partir de la aplicación de un cuestionario, se objetivó identificar las competencias necesarias para operar el sistema IRST por medio de solicitud de informaciones a un grupo de personas acerca del problema estudiado a continuación, mediante análisis, se obtienen las conclusiones correspondientes a los datos recolectados (GIL, 2002).

## 2 CONTEXTUALIZACIÓN

### 2.1 Teoría de la gestión por competencias

El presente trabajo utilizó como base la teoría de la gestión por competencias, ya que ha sido apuntada

como modelo gerencial alternativo a los instrumentos tradicionalmente utilizados (BRANDÃO, BAHRY, 2005).

La gestión por competencias se propone a,

orientar esfuerzos para planificar, captar, desarrollar y evaluar, en los diferentes niveles de la organización (individual, grupal y organizacional), las competencias necesarias para la consecución de sus objetivos. (CARBONE et al., 2009, p. 50).

Carbone et al. (2009, p. 41) preconizan que en ese tipo de gestión hay el entendimiento implícito que,

el dominio de ciertas competencias - las escasas, valiosas, difíciles de desarrollar - confieren a la organización un rendimiento superior al de sus competidores [...].

De esta forma, se entiende que es importante verificar si la FAB ha capacitado su efectivo para dominar las competencias relacionadas con la operación de sistemas de GE y obtener un desempeño superior al del enemigo en el empleo de la aeronave F-39.

El término competencia se observa en la literatura de manera polisémica. Así, a efectos de este artículo, se utilizó la siguiente definición:

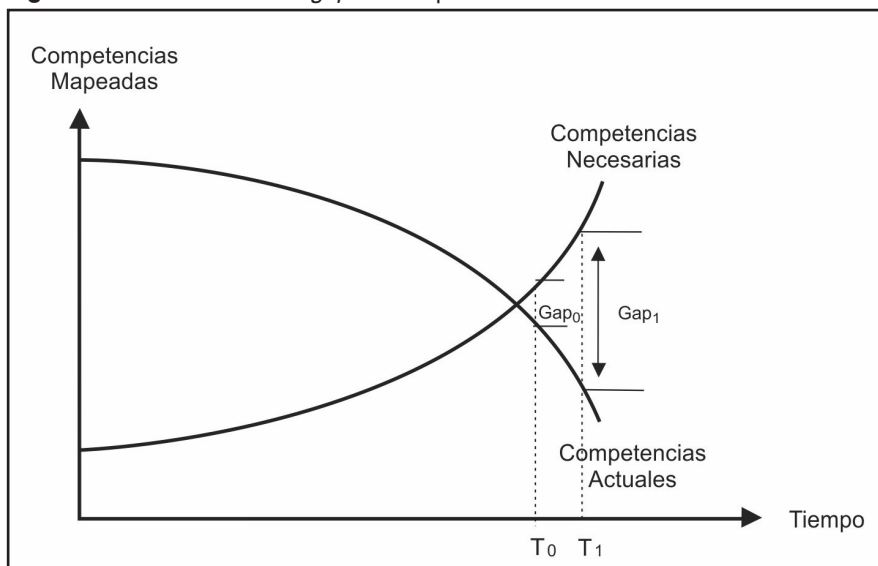
[...] las competencias humanas o profesionales son entendidas como combinaciones sinérgicas de conocimientos, habilidades y actitudes, expresadas por el desempeño profesional en determinado contexto o en determinada estrategia organizacional. (CARBONE et al., 2005 apud BRANDÃO; BAHRY, 2005, p. 180).

Haciendo un paralelo con el problema de investigación, se observa que, bajo el enfoque de la teoría de gestión por competencias, para operar un sistema de GE es necesario combinar de forma sinérgica conocimientos, habilidades y actitudes en la conducción de la misión.

En este escenario, el conocimiento se define como el saber que la persona acumuló a lo largo de su vida, algo relacionado con el recuerdo de conceptos, ideas o fenómenos. La habilidad se entiende como la capacidad de una persona para crear conocimientos almacenados en su memoria y utilizarlos en una acción. La actitud se define como la predisposición de la persona, que influye su conducta en relación a los demás, al trabajo o a las situaciones (CARBONE et al., 2009).

Uno de los procesos de la gestión por competencias es el mapeo, que fue definido por Carbone et al. (2009), de la identificación del *gap* o brecha entre las habilidades necesarias para lograr el rendimiento esperado y las habilidades disponibles en la institución. La referida laguna tiende a aumentar con el tiempo, si la organización no realiza acciones apropiadas para mitigar ese efecto.

La Figura 1 ilustra lo mencionado en este texto.

**Figura 1** – Identificación del *gap* de competencias.

Fuente: Ienaga (1998 apud CARBONE et al., 2009).

En ese sentido, según Carbone et al. (2009, p. 53), el mapeo permite,

no sólo la identificación del *gap*, sino también la planificación de iniciativas de desarrollo de habilidades que minimicen este hueco,

pudiendo concentrarse en la captación de recursos, identificación y asignación de talentos o en la compatibilidad de las herramientas de educación corporativa. Sobre el tema, Carbone et al. (2009, p. 72) afirmaron.

El subsistema de educación corporativa, por ejemplo, actúa directamente en el proceso de desarrollo de competencias humanas, promoviendo la socialización de las competencias existentes y proveyendo la organización de acciones de aprendizaje que permitan eliminar eventuales lagunas de competencias, como sugieren Freitas y Brandão (2006). Puede, también, actuar por anticipado, desarrollando hoy competencias que serán necesarias sólo en el futuro.

En el presente estudio se optó por el análisis, a partir del Currículo Mínimo y del Plan de Unidades Didácticas (PUD), de las competencias desarrolladas en el CDGE, herramienta de educación corporativa de la FAB, utilizada para desarrollar las competencias de los pilotos en el área de GE. De esta forma, se busca actuar por anticipación, entendiéndose que el perfeccionamiento del contenido del referido curso pueda ser determinante en la futura operación del sistema IRST de la aeronave F-39.

Trayendo para la discusión la relación entre el currículo y el aprendizaje, Sacristán (2013, p.17) presentó la siguiente asertiva: “De todo lo que sabemos

y que, en tesis, puede ser enseñado o aprendido, el currículo a enseñar es una selección organizada de los contenidos a aprender [...]” Es decir, el programa didáctico del CDGE, orientado por el currículo, debe definir de forma organizada lo que se espera que los pilotos aprendan.

En cuanto al asunto, Costa (2005) indicó que, al utilizar la noción de competencia en la elaboración del currículo, el mismo no debe desvincularse de la práctica. De esta forma, los currículos, en la visión de la autora citada, “ya no deben definir los conocimientos a ser enseñados, sino las competencias que deben ser construidas” (COSTA, 2005, p. 53).

Complementando esa idea, Deluiz (2001) ha identificado que, en el modelo de competencias, la investigación de los procesos de trabajo y la identificación de perfiles profesionales son indicaciones generales para la organización del currículo, el cual debe ser flexible.

Por lo tanto, a partir de los conceptos presentados, se entiende que el currículo del CDGE debe ser maleable y darse la vuelta a las actividades prácticas, para así adecuarse al desarrollo de las competencias pretendidas.

Además, se observa que los conceptos de la gestión por competencias y del aprendizaje proveniente del currículo convergen en el sentido de buscar la capacitación del piloto para movilizar aquello que ha sido estudiado en competencias, aquí definidas como conocimientos, habilidades y actitudes, posibilitando actuar de forma adecuada frente a las situaciones que podrá experimentar durante las misiones.

## 2.2 Competencias necesarias para operar el sistema IRST de la aeronave F -39

Para enumerar las competencias necesarias para operar el sistema IRST de la aeronave Gripen, se utilizó el Método Delphi.

Según Cardoso et al. (2005), el Método Delphi ha sido uno de los 286 instrumentos más utilizados en la realización de estudios prospectivos. Wright y Giovinazzo (2000) presentan a Delphi como una técnica 288 que busca establecer un consenso de opiniones en un grupo formado por 289 especialistas sobre eventos futuros.

Según Wright y Giovinazzo (2000), se pueden enumerar como ventajas del Método Delphi la posibilidad de realizar predicciones en situaciones de carencia de datos históricos y el anonimato en las respuestas, eliminando la influencia de factores como el estatus académico o profesional del encuestado, capacidad de oratoria, en la consideración de la validez de sus argumentos.

En cambio, los mismos autores también presentan como desventajas y limitaciones de la herramienta el tratamiento estadísticamente no aceptable y la excesiva dependencia de los resultados en relación a la selección de los especialistas, con la posibilidad de introducción de sesgos por la elección de los respondedores.

En cuanto a las limitaciones mencionadas, Wright y Giovinazzo (2000, p. 64) entienden que,

[...] el Método Delphi no pretende hacer un levantamiento estadísticamente representativo de la opinión de un determinado grupo, tratándose esencialmente de una consulta a un grupo limitado y selecto de especialistas, que por medio de su capacidad de razonamiento lógico, su experiencia y el intercambio objetivo de información busca llegar a opiniones conjuntas sobre las cuestiones propuestas, no aplicando validez estadística de la muestra en esa situación.

En cuanto a los puntos presentados, el Método Delphi se mostró el más adecuado para el estudio en cuestión, teniendo en vista que se pretendió obtener una proyección, a través de la experiencia profesional y capacidad de razonamiento de los especialistas seleccionados, en un escenario sin datos históricos, de la futura necesidad de capacitación de los pilotos, sin aspiración de validez estadística.

Sobre la selección de los especialistas, Cardoso et al. (2005, p. 68) presentó la siguiente definición:

[...] profundo conocedor del asunto, sea por formación/especialización académica, sea por experiencia de actuación en el ramo en cuestión. Dependiendo del tema y de los objetivos de la investigación, es incluso recomendable la participación de especialistas de diferentes formaciones y áreas de actuación.

Basándose en la descripción anterior, para este estudio, fuimos seleccionados como expertos en el mundo de los pilotos de combate, aquellos con experiencia en aviones de línea<sup>4</sup> y el conocimiento en el área de GE. El grupo seleccionado contó con tres pilotos experimentales de pruebas en vuelo, que poseen experiencia en todas las aeronaves de primera línea de FAB y en otras del exterior, 2 pilotos de GripenC/D<sup>5</sup> y tres pilotos de A-1, siendo que todos poseen la CDGE y 5 están formados en el Curso de Especialización en el Análisis de Ambiente Electromagnético (CEAAE)<sup>6</sup>.

A partir del supuesto de que el conocimiento sobre GE y operación de aeronaves de caza de primera línea fueron puntos comunes, la diversificación del tipo de aeronave pilotada tuvo como objetivo permitir que las diferentes experiencias profesionales de los seleccionados se complementasen en la búsqueda del consenso sobre el asunto, admitiendo mayor robustez al resultado y atenuando la posibilidad de introducción de sesgo en la investigación.

Los cuestionarios fueron administrados por las herramientas *Google Forms*. En la primera serie de preguntas, se buscó establecer, en la visión de los especialistas, cuáles son las competencias necesarias para un piloto de caza de la FAB operar el IRST. Conforme preconizan Carbone et al. (2009), las competencias fueron desmembradas en tres categorías de análisis, ya descritas en la sección anterior, a saber: conocimientos, habilidades y actitudes.

Con las respuestas del primer cuestionario, se realizó un examen, con el objetivo de eliminar ambigüedades, repeticiones y (o) incorrecciones, para entonces elaborarse el segundo cuestionario, que buscó analizar el consenso entre los especialistas. El referido cuestionario presentó 17 conocimientos, 16 habilidades y 23 actitudes, las cuales fueron analizadas por los mismos especialistas, para verificar el nivel de concordancia. En el presente trabajo, se consideró aceptable cuando el coeficiente de concordancia (Cc) presentó valores  $Cc \geq 60\%$ , siguiendo lo propuesto por Santos (2001).

<sup>4</sup> Primera línea de la aviación de caza refiérese a las siguientes Unidades: 1° GDA, 1° GAVCA, 1°/4° GAV y 1°/14° GAV, que operan la aeronave F-5M, además del 1°/10° GAV y 3°/10° GAV que operan la aeronave A-1 y A-1M (BRASIL, 2016b). En el futuro, las unidades operadoras de F-39 compondrán a dicho grupo.

<sup>5</sup> Versión anterior del Gripen NG.

<sup>6</sup> Curso de Especialización *Lato Sensu* impartido en el Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Se presenta como prerequisite haber concluido el CDGE (BRASIL, 2015a).

Conforme al autor citado, este coeficiente se determina según la ecuación 1.

$$C_c = (1 - V_n/V_t) \times 100 \quad (1)$$

donde,

$C_c$  = Coeficiente de concordancia expresado en porcentaje;

$V_n$  = Cantidad de expertos en desacuerdo con el

criterio predominante; y

$V_t$  = Cantidad total de especialistas.

Como respuesta del segundo cuestionario, se verificó que todas las competencias indicadas por los especialistas alcanzaron un nivel de concordancia igual o superior al 60%. Los cuadros 1, 2 y 3 presentan las competencias enumeradas por los especialistas, con sus respectivos coeficientes de concordancia.

**Cuadro 1 – Conocimientos.**

Código	Descripción de las competencias	Cc
C1	Conocer los fundamentos básicos, el principio de funcionamiento y las capacidades de un sistema IRST.	100%
C2	Conocer las características y propiedades de la propagación de las emisiones en la banda IR.	100%
C3	Conocer las principales Contramedidas Electrónicas ( <i>jamming</i> /interferencia) aplicables contra un sistema IRST.	100%
C4	Conocer las principales limitaciones de un sistema IRST.	100%
C5	Conocer los tipos de emisión electromagnética utilizados por los vectores actuales, amigos y enemigos, principalmente los de América del Sur.	87,5%
C6	Conocer la influencia de las variables atmosféricas (nubes, lluvia, etc.) en la propagación de la radiación IR y en el desempeño del sistema IRST.	100%
C7	Conocer las ventajas y desventajas de usar IRST <i>versus</i> Radar para detección y compromiso de los objetivos en el entorno de combate aéreo.	100%
C8	Conocer las vulnerabilidades y ventajas del uso del sistema IRST en relación a una amenaza real en América del Sur.	100%
C9	Conocer las ventajas y desventajas de la utilización de equipos de detección pasiva.	87,5%
C10	Conocer las diferentes características de emisión de infrarrojos de motores de aviones de combate (jet puro, <i>turbofan</i> , etc.) y otros vectores (aviones de hélice, helicópteros, etc.).	87,5%
C11	Conocer los principios de funcionamiento y limitaciones de un sistema IR.	100%
C12	Conocer los conceptos básicos de propagación.	100%
C13	Conocer los conceptos básicos de Guerra Electrónica.	87,5%
C14	Conocer las tácticas de uso de sensores pasivos.	87,5%
C15	Conocer las divisiones y características del espectro electromagnético.	87,5%
C16	Conocer cómo se producen las imágenes/ <i>plots</i> del IRST de la detección hasta su interfaz con el piloto.	62,5%
C17	Conocer las limitaciones de integración entre los subsistemas de la aeronave para detectar posibles limitaciones en el empleo de la aeronave en el ambiente de combate aéreo.	87,5%

Fuente: El autor.

**Quadro 2 – Habilidades.**

Código	Descripción de las competencias	Cc
H1	Identificar si la condición atmosférica propicia el empleo del sistema IRST.	100%
H2	Analizar si el funcionamiento del sistema IRST concuerda con la teoría, identificando adecuadamente un mal funcionamiento.	100%
H3	Calcular, de manera estimada, la efectividad (alcance máximo/nivel mínimo de señal para acompañamiento, etc.) del sistema IRST.	100%
H4	Identificar en tiempo real las posibles limitaciones del sistema IRST y adoptar medidas mitigadoras (Ej: cambio de sensor para el RADAR).	100%
H5	Evaluar y planificar las condiciones para el empleo combinado o aislado del sistema IRST.	100%
H6	Si se tiene conciencia de las amenazas en el escenario, ser efectivo en la elección del sensor adecuado (RADAR/IRST).	100%
H7	Identificar las posibles restricciones del sistema IRST en medidas de identificación visual.	87,5%
H8	Definir las mejores doctrinas de empleo del sistema IRST.	75%
H9	Operar el sistema IRST, junto con los demás sistemas de la aeronave, de forma correcta y eficiente con el objetivo de obtener ventaja táctica.	100%
H10	Interpretar correctamente los formatos de imágenes/ <i>plots</i> de los blancos y sus variaciones en función de las condiciones de radiación y atmósfera.	100%
H11	Interpretar la ocurrencia de Ataque Electrónico ( <i>interferencia/jamming</i> ) contra el sistema IRST.	100%
H12	Identificar correctamente su blanco con el uso del sistema IRST dentro de un escenario complejo de multiaeronaves ( <b>TARGETING</b> y <b>SORTING</b> ).	100%
H13	Reconocer e identificar la existencia de blancos falsos.	100%
H14	Reconocer e identificar la presencia de fuerzas amigas (alas, fuerzas atacantes amigas, etc.).	100%
H15	Planificar y analizar posibles resultados esperados de la utilización del sistema IRST.	87,5%
H16	Maniobrar de manera adecuada para mayor efectividad en el uso del sistema IRST.	100%

Fuente: El autor.

**Quadro 3 – Actitudes.**

(continúa)

Código	Descripción de las competencias	Cc
A1	Valorar los cursos de GE en el ámbito de la FAB.	100%
A2	Valorar el conocimiento de la Guerra Electrónica como factor multiplicador de la capacidad de combate.	100%
A3	Tener la iniciativa para adquirir conocimiento acerca de las capacidades de Contramedidas Electrónicas ( <i>interferencias/jamming</i> ) y la reducción de la signatura del enemigo.	100%
A4	Valorar el conocimiento sobre equipos de GE que puedan degradar la utilización del IRST.	100%



(conclusión)

A5	Valorar el estudio del sistema IRST.	100%
A6	Buscar actualizarse sobre nuevas tecnologías de detección IR.	100%
A7	Incentivar la utilización de los sistemas de GE disponibles en la UAE.	100%
A8	Incentivar el estudio y el desarrollo de GE en la Unidad Aérea.	100%
A9	Comprender la importancia de los conocimientos básicos de GE para la operación de los sistemas embarcados.	100%
A10	Valorar la necesidad de un stand de Guerra Electrónica de la FAB para el estudio y desarrollo de una doctrina orientada hacia acciones de GE.	100%
A11	Reconocer la importancia de la evaluación operativa (AVAOP) en los procesos operativos periódicos.	75%
A12	Buscar mantener el conocimiento actualizado frente a las nuevas posibilidades y tecnologías.	100%
A13	Tener disposición y voluntad de poner en práctica los conocimientos y las habilidades desarrolladas después del estudio del equipo.	100%
A14	Estar atento a cualquier discrepancia o comportamiento anormal del sistema IRST para la gestión del conocimiento y la identificación de limitaciones.	100%
A15	Estimular el desarrollo de tácticas combinadas con otros equipos y aeronaves, para utilizar la capacidad en favor de otras aeronaves.	100%
A16	Valorar el estudio de los sistemas de la aeronave para obtener el mejor desempeño de los equipos.	100%
A17	Valorar la ejecución de intercambios operativos con las Fuerzas Aéreas operadoras de IRST y otros sistemas de GE.	100%
A18	Fomentar el desarrollo y la práctica de nuevas tácticas basadas en la utilización de los equipos de GE, en especial del IRST.	100%
A19	Buscar un pensamiento innovador en el área operativa.	100%
A20	Tener la iniciativa para desarrollar tácticas para el sistema IRST asociado con el <i>datalink</i> y de radar para el entorno de combate aéreo.	100%
A21	Reconocer la importancia de la existencia de técnicos (especialistas e ingenieros) como medio de soporte operacional.	87,5%
A22	Valorar, en la misma proporción, su conocimiento teórico del equipo y su experiencia anterior como piloto de caza.	75%
A23	Valorar el uso de los principios de inteligencia y de salvaguardia de las informaciones en la gerencia del conocimiento sobre GE.	100%

Fuente: El autor.

### 2.3 Competencias desarrolladas en CDGE

Para alcanzar el OE2, conforme a los conceptos expuestos por Sacristán (2013) y demás autores referenciados, y con la finalidad de identificar las competencias necesarias que se desarrollan durante el curso, se realizó un análisis de las normas que rigen la ejecución del CDGE, por medio de investigación documental del contenido del Plan de Unidades Didácticas (PUD) y del Currículo Mínimo (ICA 37-507). La referida investigación

fue concretada por contacto directo con el GITE y acceso al repositorio de legislaciones de la FAB, en el sitio electrónico del Centro de Documentación de la Aeronáutica (CENDOC).

Cabe resaltar que no fue posible identificar las competencias desarrolladas en los discentes después del curso. Por lo tanto, el presente estudio consideró, para fines de análisis, que los alumnos aprobados desarrollan las competencias que se proponen en el contenido programático, consistente en una limitación de la investigación.

### 3 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Concluida la aplicación del Método Delphi, fueron indicados por los especialistas 56 competencias, subdivididas en 17 conocimientos, 16 habilidades y 23 actitudes. Estas competencias se correlacionaron principalmente con el PUD, por lo que éste presenta mayor detalle en la descripción del contenido y por indicar los objetivos operacionalizados de cada disciplina (BRASIL, 2015b), como se indica en el Cuadro 4.

Inicialmente, se identificó que, entre los 17 conocimientos listados por los especialistas, 8 son ministrados en el CDGE.

De esta forma, se percibe que el 47% de los conocimientos indicados por los especialistas como necesarios para operar el sistema IRST del Gripen-NG son desarrollados en el CDGE.

Al profundizar el análisis, fue posible observar que los conocimientos C16 y C17 son totalmente dependientes de la interacción con la aeronave Gripen-NG. Además, dado que el CDGE no tiene como propósito capacitar al piloto en la operación de la aeronave, los referidos conocimientos, tenidos como específicos, fueron desconsiderados en el ámbito del presente trabajo. De lo anterior se observó una relación del 53% entre los conocimientos necesarios para operar el IRST del Gripen-NG y aquellos impartidos en el CDGE.

Posteriormente, se identificó que, entre las 16 habilidades listadas por los especialistas, 2 son impartidas en el CDGE, totalizando el 12.5%.

Sobre el tema, semejante al ocurrido con los conocimientos, pero de manera más ostensiva, fueron indicados por los especialistas 13 habilidades (H4 hasta H16) directamente dependientes de la aeronave. Este resultado es comprensible, teniendo en cuenta que,

como ya mencionamos en el presente artículo, la habilidad fue considerada como la capacidad de una persona para crear conocimientos almacenados en su memoria y utilizarlos en una acción. Por lo tanto, es coherente que los expertos indiquen como necesarias las habilidades que implican la ejecución del vuelo en sí.

Sin embargo “Desarrollar competencias no es contentarse en haber seguido un programa, sino no parar con su construcción y prueba.” (PERRENOUD, 1999, p. 79). De esta forma, es importante comprender que el proceso de desarrollo de competencias no se termina al término de un solo curso teórico, ya que debe ser continuamente mejorado en las unidades operativas.

Para mantener el enfoque establecido en el problema de investigación, fueron consideradas apenas las habilidades indicadas por los especialistas que no dependen de la ejecución del vuelo. De lo anterior se observó una relación del 67% entre las habilidades necesarias para operar el IRST del Gripen-NG y aquellas impartidas en el CDGE.

Por último, se identificó que en el PUD y Currículo Mínimo del CDGE hay objetivos de enseñanza bastante amplios y genéricos dirigidos al campo de las actitudes, a saber:

- a) poseer la conciencia de la importancia de la Guerra Electrónica como factor multiplicador de la capacidad de combate de la Fuerza Aérea y de la importancia de la divulgación de la doctrina establecida por el COMGAR;
- b) formar profesionales emprendedores con capacidad para promover el desarrollo doctrinal y operacional de la Fuerza Aérea; y
- c) proporcionar el desarrollo del razonamiento crítico y del conocimiento técnico para evaluar el empleo de los vectores aéreos a la luz de la doctrina de Guerra Electrónica, implementando soluciones adecuadas al desarrollo operacional de la FAB. (BRASIL, 2012, p. 8).

**Cuadro 4 – Correlación de competencias.**

Competencias necesarias	Disciplinas CDGE
C2, C6, C10, H1	Electro-óptica (infrarrojo).
C9	Utilización de los equipos de detección pasiva.
C11, C13, H3	Fundamentos de Guerra Electrónica.
C12	Conceptos básicos de Guerra Electrónica.
	Propagación.
	Ondas electromagnéticas.
C15	División de la Guerra Electrónica.
C1, C3 hasta C8, C14, C16, C17, H2, H4 hasta H16, A21 hasta A23	No abordado.
A1 hasta A20	Todas las disciplinas (objetivo general del curso).

**Fuente:** El autor.

El alcance de estos tópicos es realizado por tratarse de objetivos generales del curso que se pretende alcanzar al término de todas las disciplinas. Como se indica por Carbone et al. (2009), actitud es la predisposición de la persona para llevar a cabo la acción, relacionado con **querer hacerlo**. Siendo así, se consideró que, a partir del momento en que el piloto desarrolla las actitudes citadas como objetivos generales del curso, él consecuentemente desarrollará otras actitudes más específicas, derivadas de esas principales. De esta forma, se observó que 20 actitudes relacionadas por los especialistas como necesarias son desarrolladas en el CDGE (A1 hasta A20, inclusive), correspondiendo al 87% del total indicado.

En resumen, fue posible observar que el CDGE desarrolla 30 competencias apuntadas por los especialistas como necesarias para operar el IRST de la aeronave F-39 (8 conocimientos, 2 habilidades y 20 actitudes). En cuanto a las salvedades presentadas en el análisis en relación a las competencias dependientes de la aeronave, se percibe que son necesarias 41 competencias (15 conocimientos, 3 habilidades y 23 actitudes). Por lo tanto, se aplica una relación porcentual entre los totales desarrollados y necesarios, se observa que hay un 73% de correspondencia, conforme Tabla 1.

Empleando la teoría presentada por Carbone et al. (2009), se identificó que existe un *gap* de habilidades, debido principalmente a la inclusión de un nuevo componente de la tecnología en el proceso, la aeronave Gripen NG. Conforme preconizan los autores citados, la organización (FAB) debe buscar maneras de disminuir ese vacío al mínimo posible para, de esta forma, mantenerse competitiva, lo que, en el caso de una Fuerza Aérea, puede ser entendido como preservar una capacidad operacional equivalente o superior a las amenazas.

Se observó así que, al realizar un análisis bajo la óptica de la gestión por competencias, fue posible identificar una laguna de capacitación en relación a la futura necesidad de la FAB en la operación del IRST en la aeronave Gripen-NG, que hace factible

una acción correctiva y por anticipación, con el fin de minimizar o eliminar esa laguna, contribuyendo en la preservación de un alto nivel de preparación de los pilotos de caza de la FAB, futuros operadores de la aeronave Gripen-NG.

Los resultados también permiten identificar que, aunque existe un *gap*, el CDGE colabora en la mejora de los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para el funcionamiento del IRS porque desarrolla el 73% de las competencias considerados fundamentales por los expertos. En consecuencia, se entiende que, independientemente de que ocurra alguna acción para minimizar la laguna de competencias identificada, debe haber un esfuerzo para que todos los futuros pilotos de F-39 asistan al CDGE antes de operar el sistema IRST de la aeronave.

Además, de acuerdo con las teorías expuestas por Costa (2005), Deluiz (2001) y Sacristán (2013), conociendo el perfil profesional deseado del piloto (competencias necesarias), hay una indicación de cómo el contenido del CDGE y de otros cursos relacionados se pueden perfeccionar si se equiparan con las prácticas necesarias para el piloto de caza para operar los diversos sistemas de la aeronave F-39, bajo la luz del modelo de competencias.

#### 4 CONCLUSIÓN

El presente trabajo fue motivado a partir de la inquietud proveniente de la adquisición de la aeronave Gripen-NG por la FAB, ya que la misma traerá consigo una serie de innovaciones tecnológicas, especialmente en el área de Guerra Electrónica (GE), lo que requerirá un alto nivel de capacitación por parte de los pilotos.

En este sentido, se buscó investigar, basándose en los conceptos de gestión por competencias, si el aprendizaje desarrollado durante la formación de los pilotos en el área de GE ha seguido el progreso proporcionado por la adquisición de la aeronave Gripen-NG.

**Tabla 1** – Resumen de los resultados para las categorías de análisis.

Competencias	Desarrolladas	Necesarias	Relación porcentual
Conocimientos	8	15	53%
Habilidades	2	3	67%
Actitudes	20	23	87%
Total	30	41	73%

**Fuente:** El autor.

Para ello, se estableció el siguiente problema de investigación: ¿en qué medida el Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica desarrolla las competencias necesarias a los pilotos de caça de la FAB para operar sistemas de Guerra Eletrônica de la aeronave F-39 Gripen-NG?

A partir de ese cuestionamiento, se optó por limitar el estudio al sistema IRST y se presentó, como objetivo general de este trabajo, analizar la correlación entre las competencias desarrolladas en el curso y las necesarias a los pilotos para operar el referido sistema. Con el propósito de responder al problema de investigación y alcanzar el objetivo general de este artículo, se presentaron dos cuestiones orientadoras y dos objetivos específicos. El primero (OE1) buscó identificar las competencias necesarias para operar el sistema IRST. Ya el segundo (OE2) tuvo el propósito de identificar si las competencias necesarias para operar el sistema IRST se desarrollan en el CDGE.

Inicialmente, para alcanzar el OE1, se realizó un levantamiento, utilizando el método Delphi,

en dos series, en las cuales un grupo de 8 expertos ha elegido las competencias necesarias. Posteriormente, para alcanzar el OE2, se realizó una investigación documental, a través del análisis del PUD y del Currículo Mínimo del CDGE, en que se identificaron las competencias necesarias desarrolladas en el curso.

De esta forma, por medio del análisis de los resultados obtenidos en el transcurso del trabajo, fue posible responder al problema de investigación y constatar que el 73% de las competencias necesarias para operar el sistema IRST de la aeronave F-39 son desarrolladas en el CDGE, divididas en el 53% los conocimientos, el 67% de las habilidades y el 87% de las actitudes.

Por último, como propuesta para trabajos futuros, se sugiere asignar las competencias necesarias para operar otros sistemas relevantes de la aeronave Gripen-NG y verificar si los alumnos previos del CDGE de hecho desarrollan las competencias previstas en el contenido programático.

## REFERENCIAS

ADAMY, D. **EW 102: a second course in electronic warfare**. [S.l.]: Artech House, 2004.

BRANDÃO, H. P.; BAHRY, C. P. Gestão por competências: métodos e técnicas para mapeamento de competências. **Revista do Serviço Público**, Brasília, v. 56, n. 2, p. 179-194, abr./jun. 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.enap.gov.br/handle/1/1504>> Acesso em: 4 mar. 2017.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando-Geral de Operações Aéreas. Portaria COMGAR nº 318/GC3, de 28 de março de 2016. Aprova a reedição das Normas reguladoras da Progressão Operacional de Oficiais Aviadores da Força Aérea Brasileira (ICA 55-6). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 56, f. 2784, 4 abr. 2016b.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Comando-Geral de Operações Aéreas. Portaria COMGAR nº 49/SCAP-17, de 17 de fevereiro de 2012. Aprova a edição do Currículo Mínimo do Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica (ICA 37-507). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 62, f. 1991, 17 fev. 2012.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial. Portaria DCTA nº 103/DNO, de 16 de abril de 2015. Aprova a reedição

das Normas reguladoras do Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (ICA 37-581). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 76, f. 3306, 24 abr. 2015a.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Gabinete do Comandante da Aeronáutica. Portaria GABAER nº 189/GC3, de 30 de janeiro de 2017. Aprova a primeira modificação da Concepção Estratégica Força Aérea 100 (DCA 11-45). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 18, f. 1058, 1 fev. 2017.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Grupo de Instrução Tática e Especializada. **Apostila do Curso Doutrinário de Guerra eletrônica: divisões da Guerra Eletrônica**. Parnamirim, RN: [s.n.], 2016a. 11f.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Grupo de Instrução Tática e Especializada. **Plano de Unidades Didáticas do Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica**. Parnamirim, RN: [s.n.], 2015b. 42f.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <[http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado\\_e\\_defesa/END-PND\\_Optimized.pdf](http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/END-PND_Optimized.pdf)> Acesso em: 4 mar. 2017.

CARBONE, P. P. et al. (Org.). **Gestão por competências e gestão do conhecimento**. 3.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2009.

CARDOSO, L. R. A. et al. Prospecção de futuro e Método Delphi: uma aplicação para a cadeia produtiva da construção habitacional. **Revista Ambiente Construído**, Rio Grande do Sul, v. 5, n 3, p. 63-78, abr./jun. 2005. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3650/2008>> Acesso em: 4 mar. 2017.

COSTA, T. A. A noção de competência enquanto princípio de organização curricular. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 52-62, ago. 2005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-24782005000200005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782005000200005&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 21 abr. 2017.

DELUIZ, N. O modelo das competências profissionais no mundo do trabalho e na educação: implicações para o currículo. **Boletim Técnico do SENAC**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 13-25, 2001.

FERREIRA, M. J. B.; JUNIOR, C. N. A incursão do Brasil no segmento de aviões de caça da indústria aeronáutica militar: o projeto F-X2. ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DE DEFESA, 9., 2016. **Anais Eletrônicos...** Florianópolis, 2016. Disponível em: [http://wwabw.ened2016.abedef.org/resouces/anais/3/1466389753\\_ARQUIVO\\_Ferreira\\_](http://wwabw.ened2016.abedef.org/resouces/anais/3/1466389753_ARQUIVO_Ferreira_)

Marcos\_IXENABED\_AT1\_Artigo.VF.pdf. Acesso em: 4 mar. 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MERCADO, L. P. L. (Org.). **Novas tecnologias na educação**: reflexões sobre a prática. Maceió: EDUFAL, 2002.

PERRENOUD, P. **Construir as competências desde a escola**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

SAAB. **Informações institucionais**. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://www.saab.com/pt/air/gripen-fighter-system/gripen/gripen.com/Orgulho-de-ser-Brasileiro/o-gripen-para-o-Brasil/>. Acesso em: 4 mar. 2017.

SACRISTÁN, J. G. (Org.). **Saberes e incertezas sobre o currículo**. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, A. C. O uso do método Delphi na criação de um modelo de competências. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 25-32, abr./jun. 2001.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi – Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 12, 2. trim. 2000. Disponível em: <<http://regeusp.com.br/arquivos/C12-art05.pdf>> Acesso em: 2 mar. 2017.

## ORIENTAÇÕES PARA SUBMISSÃO

A Revista da Universidade da Força Aérea é um periódico científico avaliado às cegas por pares e de periodicidade semestral, que tem por finalidade publicar as contribuições sobre estudos do Poder Aeroespacial.

Somente serão aceitas submissões em mídia eletrônica e em Língua Portuguesa.

O processo de submissão é por fluxo contínuo e sua publicação ocorre em junho e dezembro de cada ano.

Para maiores informações com respeito as formatações, quantidade de palavras dos artigos, tipos de artigos aceitos, processo de julgamento de manuscritos, avaliação às cegas por pares, termo de cessão de direitos autorais e outras informações pertinentes para elaboração dos artigos, consulte a norma de publicação no *site* da Revista da UNIFA disponibilizado em: [www.fab.mil.br/unifa/revistadaunifa](http://www.fab.mil.br/unifa/revistadaunifa)

Para submissão de artigos científicos, envie *e-mail* para o seguinte endereço eletrônico: [revistadaunifa@gmail.com](mailto:revistadaunifa@gmail.com)

## GUIDELINES FOR SUBMISSION

The Journal of the Air Force University is a biannual scientific periodical, blindly reviewed by peers, that aims at publishing the contributions of the Aerospace Power Studies.

Only submissions in electronic media and in Portuguese will be accepted.

The submission process is on a continuous flow basis and its publication takes place in June and December every year.

For more information regarding the formats, the articles' word count, the types of articles accepted, the process of evaluation of manuscripts, the blind peer reviews, the term of copyright transfer and other relevant information to the writing of the articles, please consult the rules for publication available on the Journal of UNIFA's website: [www.fab.mil.br/unifa/revistadaunifa](http://www.fab.mil.br/unifa/revistadaunifa)

For the submission of scientific articles, please send an e-mail to the following electronic address: [revistadaunifa@gmail.com](mailto:revistadaunifa@gmail.com)

## ORIENTACIONES PARA SUBMISIÓN

La Revista de la Universidad de la Fuerza Aérea es un periódico científico evaluado anónimamente y de periodicidad semestral, que tiene por objetivo publicar las contribuciones sobre estudios del Poder Aeroespacial.

Solamente serán aceptadas sumisiones en medios electrónicos y en el Idioma Portugués.

El proceso de sumisión es por flujo continuo y su publicación ocurre en junio y diciembre de cada año.

Para más informaciones sobre las formatos de texto, cantidad de palabras de los artículos, tipos de artículos aceptados, proceso de juzgamiento de manuscritos, evaluación anónima, termo de cesión de derechos autorales y otras informaciones pertinentes para la elaboración de los artículos, consulte la norma de publicación en el sitio web de la Revista de UNIFA en: [www.fab.mil.br/unifa/revistadaunifa](http://www.fab.mil.br/unifa/revistadaunifa)

Para sumisión de artículos científicos, envíe un e-mail para el siguiente correo electrónico: [revistadaunifa@gmail.com](mailto:revistadaunifa@gmail.com)



Portão da Guarda da UNIFA/Guard Gate of UNIFA/Porton de la Guardia de la UNIFA.

**UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA (UNIFA)  
PRÓ-REITORIA DE APOIO À PESQUISA (PROAPE)  
SEÇÃO DE DIVULGAÇÃO DA PRODUÇÃO ACADÊMICA (SDPA)**

Av. Marechal Fontenelle, 1000 - Campo dos Afonsos

Rio de Janeiro - RJ

CEP 21740-000

Telefone/Telephone number/Teléfono: +055 21 21572753

Site/Website/Sitio Web: [www.fab.mil.br/unifa/revistadaunifa](http://www.fab.mil.br/unifa/revistadaunifa)

E-mail/E-mail/Email: [revistadaunifa@gmail.com](mailto:revistadaunifa@gmail.com)



# UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA

