



**Universidade de Brasília - UnB**  
**Faculdade UnB Gama - FGA**

**Projeto Integrador de Engenharias**

## **Balão Cativo de Monitoramento**

**Autor: Grupo 1**  
**Orientador: Prof. Dr. Daniel Muñoz**

**Brasília, DF**

**2015**



Grupo 1

## **Balão Cativo de Monitoramento**

Projeto realizado durante a disciplina de Projeto Integrador 1 dos cursos de Engenharias da Universidade de Brasília.

Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Daniel Muñoz

Brasília, DF  
2015

---

Grupo 1 Balão Cativo de Monitoramento/ Grupo 1. – Brasília, DF, 2015-  
77 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Muñoz

Projeto Integrador 1 de Engenharias – Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA , 2015.

1. Monitoramento. 2. Balão. I. Prof. Dr. Daniel Muñoz. II. Universidade de  
Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Balão Cativo de Monitoramento

CDU 02:141:005.6

---

# **Lista de ilustrações**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Vista aérea do campus UnB Gama: área construída . . . . .   | 10 |
| Figura 2 – Principais motivos responsáveis pela falta de segurança no estacionamento do campus FGA. . . . .  | 11 |
| Figura 3 – Questionário sobre mobilidade e segurança do campus. . . . .  | 11 |
| Figura 4 – Pesquisa de mobilidade dos alunos da FGA: meios utilizados para deslocamento residência-FGA . . . . .   | 12 |
| Figura 5 – Pesquisa de mobilidade de alunos da FGA: índices de furtos e registros de boletins de ocorrência no período dos anos de 2010 a 2015 . . . . . | 12 |
| Figura 6 – Vista aérea do Campus FGA: áreas de estacionamento do campus . . .  | 13 |
| Figura 7 – Divisão de gerência e subgerência . . . . .   | 17 |
| Figura 8 – Funcionamento SUM . . . . .   | 22 |
| Figura 9 – Esquema de Balão Esférico com Fita de Carga. . . . .  | 24 |
| Figura 10 – Maior Balão Zero Pressão Usado pela NASA . . . . .   | 25 |
| Figura 11 – Distribuição de Pressão de um Balão Super Pressão . . . . .  | 26 |
| Figura 12 – Diagrama de Corpo Livre de um Balão . . . . .  | 28 |
| Figura 13 – Gráfico do empuxo líquido pelo tempo . . . . .   | 34 |
| Figura 14 – Coeficiente de arrasto do balão em função do número de Reynolds do fluido e do formato do balão . . . . .                                    | 36 |
| Figura 15 – Coordenadas do cabo . . . . .  | 38 |
| Figura 16 – Tabela ilustrativa dos tipos de motores disponíveis . . . . .  | 41 |
| Figura 17 – Modelo de motor elétrico escolhido . . . . .   | 41 |
| Figura 18 – Propriedade do cabo Alma de Fibra . . . . .  | 42 |
| Figura 19 – Local da Estação Solo . . . . .  | 45 |
| Figura 20 – Diagrama de Caso de Uso . . . . .  | 46 |
| Figura 21 – Diagrama de Arquitetura: Operacionalibilidade do Sistema . . . . .   | 46 |
| Figura 22 – Processo de Monitoramento . . . . .  | 47 |
| Figura 23 – Funcionamento geral da eletrônica embarcada no SUM . . . . .   | 51 |
| Figura 24 – Exemplo de funcionamento da comunicação I2C . . . . .  | 54 |
| Figura 25 – Diagrama funcional acelerômetro ADXL345 . . . . .  | 55 |
| Figura 26 – Diagrama funcional Barômetro BMP085 . . . . .  | 55 |
| Figura 27 – Diagrama Funcional Giroscópio L3G4200D . . . . .   | 56 |
| Figura 28 – Diagrama funcional magnetômetro HMC5883L . . . . .   | 56 |
| Figura 29 – Diagrama funcional sensor de umidade . . . . .   | 57 |
| Figura 30 – Ilustração da escala de bits . . . . .   | 57 |
| Figura 31 – Waveshare OV5647 Night Vision em destaque . . . . .  | 58 |
| Figura 32 – Painel infra-vermelho . . . . .  | 59 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 33 – Eixos de referência em destaque. . . . .                       | 60 |
| Figura 34 – Trilho em destaque na estrutura conceitual da payload. . . . . | 62 |
| Figura 35 – Conexão com cabo de ancoragem em destaque. . . . .             | 63 |
| Figura 36 – Motor de Passo AK23/R100F6FN1.8-G10-LINIX . . . . .            | 64 |
| Figura 37 – Diagrama Energético - Balão Cativo. . . . .                    | 65 |
| Figura 38 – Banco de Baterias. . . . .                                     | 66 |
| Figura 39 – Cálculo de autonomia de Banco de baterias . . . . .            | 67 |
| Figura 40 – Sala de monitoramento . . . . .                                | 68 |
| Figura 41 – Sistema do balão . . . . .                                     | 69 |
| Figura 42 – Bitola do Fio . . . . .  | 69 |
| Figura 43 – Protótipo do Sum no Catia . . . . .                            | 70 |
| Figura 44 – Protótipo da payload do Sum no Catia . . . . .                 | 71 |
| Figura 45 – Detalhe do trilho da payload . . . . .                         | 71 |
| Figura 46 – Mapa do Campus com as posições dos balões . . . . .            | 72 |

# **Lista de tabelas**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Enfoque por ponto de controle . . . . .                                     | 16 |
| Tabela 2 – Cronograma de atividades até o primeiro Ponto de Controle de PI 1. . . . .  | 18 |
| Tabela 3 – Cronograma de atividades para o segundo Ponto de Controle de PI 1. . . . .  | 19 |
| Tabela 4 – Cronograma de atividades para o terceiro Ponto de Controle de PI 1. . . . . | 19 |
| Tabela 5 – Características do Hélio . . . . .  | 22 |
| Tabela 6 – Características do Hidrogênio . . . . .                                     | 23 |
| Tabela 7 – Forças Verticais Atuantes no Balão . . . . .                                | 30 |
| Tabela 8 – Forças Atuantes no Balão . . . . .  | 31 |
| Tabela 9 – Posição, comprimento e ângulo dos cabos . . . . .                           | 39 |
| Tabela 10 – Módulo das tensões . . . . .   | 40 |
| Tabela 11 – Especificações da Seagate Archive 8TB . . . . .                            | 42 |
| Tabela 12 – Configuração de Hardware . . . . .   | 43 |
| Tabela 13 – Tabela de preços . . . . .   | 43 |
| Tabela 14 – Especificações e preço do Walk Talk Cobra Cxr925 56km . . . . .            | 44 |
| Tabela 15 – Requisitos do Sistema de Monitoramento . . . . .                           | 49 |
| Tabela 16 – Identificação dos Critérios de Risco . . . . .                             | 50 |
| Tabela 17 – Especificações dos microcontroladores . . . . .                            | 53 |
| Tabela 18 – Especificação do Reaction Wheel . . . . .                                  | 63 |

# Lista de equações

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.1  | Tensão do balão . . . . .  | 24 |
| 3.2  | Equação geral dos gases . . . . .                                      | 27 |
| 3.3  | Equação geral dos gases quando $V_2 = 281K$ e $V_1 = 205.15$ . . . . . | 27 |
| 3.4  | Lei dos gases ideais . . . . .   | 27 |
| 3.5  | Equação (3.4), adaptada, quando $T_1 = 281$ e $T_2 = 305.15$ . . . . . | 27 |
| 3.6  | Quantidade da matéria final . . . . .                                  | 28 |
| 3.7  | Fórmula para o cálculo de empuxo . . . . .                             | 29 |
| 3.8  | Fórmula para o cálculo da massa do hélio . . . . .                     | 29 |
| 3.9  | Fórmula para o cálculo da massa do material . . . . .                  | 29 |
| 3.10 | Fórmula para o cálculo do balanço das forças . . . . .                 | 29 |
| 3.11 | Equação resultante de (3.7), (3.8) e (3.9) . . . . .                   | 30 |
| 3.12 | Equação resultante de (3.11) . . . . .                                 | 30 |
| 3.13 | Peso dos cabos . . . . .   | 30 |
| 3.14 | Fórmula para calcular o peso do gás . . . . .                          | 32 |
| 3.15 | Fórmula para calcular a força $\Delta_F$ . . . . .                     | 32 |
| 3.16 | Cálculo da massa final . . . . .                                       | 32 |
| 3.17 | Fórmula para calcular o volume final . . . . .                         | 32 |
| 3.18 | Cálculo da força líquida final . . . . .                               | 33 |
| 3.19 | Cálculo do empuxo líquido . . . . .                                    | 33 |
| 3.20 | Cálculo da variação do empuxo líquido em função do tempo . . . . .     | 33 |
| 3.21 | Cálculo do tempo gasto para o balão esvaziar . . . . .                 | 34 |
| 3.22 | Força de arrasto . . . . .   | 34 |
| 3.23 | Força lateral . . . . .  | 34 |
| 3.24 | Número de Reynolds para balão . . . . .                                | 35 |
| 3.25 | Número de Reynolds para balão . . . . .                                | 36 |
| 3.26 | Força máxima de arrasto que o balão estará sujeito . . . . .           | 36 |
| 3.27 | Força máxima lateral que o balão estará sujeito . . . . .              | 37 |
| 3.28 | Força resultante . . . . .   | 37 |
| 3.29 | Posição de equilíbrio do balão . . . . .                               | 38 |

# Sumário

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>APRESENTAÇÃO . . . . .</b>                                 | <b>9</b>  |
| <b>2</b>   | <b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>                                   | <b>10</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Detalhamento do Problema e justificativa . . . . .</b>     | <b>10</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Objetivos . . . . .</b>                                    | <b>13</b> |
| 2.2.1      | Objetivos Gerais . . . . .                                    | 13        |
| 2.2.2      | Objetivos Específicos . . . . .                               | 13        |
| <b>2.3</b> | <b>Definição do Escopo . . . . .</b>                          | <b>13</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Metodologia de Gerenciamento de Projeto . . . . .</b>      | <b>15</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Cronograma . . . . .</b>                                   | <b>18</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Organização do Documento . . . . .</b>                     | <b>20</b> |
| <b>3</b>   | <b>DESENVOLVIMENTO . . . . .</b>                              | <b>21</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Proposta da Solução/Funcionamento do Sistema . . . . .</b> | <b>21</b> |
| 3.1.1      | Balão cativo . . . . .  | 21        |
| 3.1.2      | Estação de solo . . . . .                                     | 21        |
| <b>3.2</b> | <b>Subprojeto de Estrutura e Sistema Aéreo . . . . .</b>      | <b>22</b> |
| 3.2.1      | O Envelope . . . . .  | 22        |
| 3.2.1.1    | Gás do Balão . . . . .  | 22        |
| 3.2.1.2    | Material do Envelope . . . . .                                | 23        |
| 3.2.2      | Modelo do Balão . . . . .                                     | 24        |
| 3.2.2.1    | Formato do Balão . . . . .                                    | 24        |
| 3.2.2.2    | Sistema do Balão . . . . .                                    | 25        |
| 3.2.2.3    | Adaptação do Sistema de Balão para o SUM . . . . .            | 26        |
| 3.2.3      | Cálculo do Volume do Balão . . . . .                          | 28        |
| 3.2.3.1    | Cálculo Preliminar do Volume do Balão . . . . .               | 28        |
| 3.2.3.2    | Cálculo Real do Volume do Balão . . . . .                     | 30        |
| 3.2.4      | Empuxo Líquido em Função do Tempo . . . . .                   | 31        |
| 3.2.5      | Forças no Balão . . . . .                                     | 34        |
| 3.2.6      | Posicionamento dos cabos . . . . .                            | 37        |
| 3.2.7      | Sustentação do SUM . . . . .                                  | 40        |
| <b>3.3</b> | <b>Subprojeto da Estação de Solo . . . . .</b>                | <b>42</b> |
| 3.3.1      | Estrutura . . . . .   | 42        |
| 3.3.2      | Armazenamento . . . . .                                       | 42        |
| 3.3.3      | Comunicação da estação de solo com a segurança . . . . .      | 43        |
| 3.3.4      | Processamento dos dados . . . . .                             | 44        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 3.3.4.1    | Redundância de software . . . . .                   | 44        |
| 3.3.4.1.1  | Diversidade . . . . .                               | 45        |
| 3.3.4.1.2  | Blocos de recuperação . . . . .                     | 45        |
| 3.3.5      | Processo de Monitoramento . . . . .                 | 47        |
| 3.3.6      | Identificação de Risco . . . . .                    | 49        |
| 3.3.6.1    | Quantificação do Risco . . . . .                    | 50        |
| <b>3.4</b> | <b>Subprojeto da Eletrônica Embarcada</b> . . . . . | <b>51</b> |
| 3.4.1      | Microcontroladores e microprocessadores . . . . .   | 52        |
| 3.4.2      | Sensores . . . . .                                  | 53        |
| 3.4.3      | Sistemas de câmeras . . . . .                       | 58        |
| 3.4.4      | Estabilização da carga útil . . . . .               | 60        |
| <b>3.5</b> | <b>Consumo Energético</b> . . . . .                 | <b>65</b> |
| 3.5.1      | QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão): . . . . .      | 65        |
| 3.5.2      | Banco de Baterias: . . . . .                        | 66        |
| 3.5.2.1    | Dimensionamento do Banco de Baterias: . . . . .     | 66        |
| 3.5.3      | Elementos consumidores do SUM . . . . .             | 67        |
| 3.5.3.1    | Sala de Monitoramento: . . . . .                    | 68        |
| 3.5.3.2    | Sistema do Balão . . . . .                          | 68        |
| <b>3.6</b> | <b>Integração da Solução</b> . . . . .              | <b>69</b> |
| <b>4</b>   | <b>CONCLUSÕES</b> . . . . .                         | <b>73</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .                        | <b>74</b> |

# 1 Apresentação

O presente relatório faz parte das atividades a serem desenvolvidas na disciplina de Projeto Integrador 1, do segundo semestre de 2015, onde seis grupos foram sorteados para o desenvolvimento de seis projetos definidos pelos professores da disciplina. O progresso das atividades são avaliadas em três pontos de controle, onde há a apresentação do conteúdo desenvolvido.

O grupo 1 ficou responsável por elaborar o projeto de um sistema de monitoramento do campus da UnB-FGA baseado num balão cativo. As atividades concluídas até o presente momento incluem os objetivos propostos para o Ponto de Controle 1, definição do escopo, escolha da metodologia a ser utilizada, cronograma de atividades, Estrutura Analítica de Projeto e início das pesquisas baseadas nos requisitos elencados.

Dessa forma, como parte da segunda etapa do projeto, o Relatório 2 desenvolve as atividades propostas pelo segundo Ponto de Controle, que é o desenvolvimento de modelos esquemáticos dos processos das grandes áreas de pesquisas, cálculos de consumo energético, empuxo, forças atuantes no balão, volume da bexiga e de gás.

## 2 Introdução

### 2.1 Detalhamento do Problema e justificativa

O campus do Gama da Universidade de Brasília (figura 1), construído entre os anos de 2009 a 2011, localizado na Área Especial de Indústria Projeção A, UnB- DF- 480- Gama Leste, Brasília-DF, possui área total de 335074 m<sup>2</sup>, com área construída de aproximadamente 16009 m<sup>2</sup>, sendo projetado para abrigar, no total, cinco cursos de engenharia, sendo eles de Aeroespacial, Automotiva, Eletrônica, Energia e Software.



Figura 1: Vista aérea do campus UnB Gama: área construída ([Digital Globe, 2015](#))

Em 2013, segundo informações do DaEng, sete meses após o início da gestão do Diretório Acadêmico do Gama, iniciaram-se medidas para a implementação do cercamento do campus. Contudo, mediante a falta de documentos legais, como licenciamento ambiental e demarcação de terras, o processo de licitação teve de ser adiado e, somente em meados do ano de 2015 as obras foram iniciadas.

Diante disso, durante os anos de 2012 até os dias atuais, muitos alunos, professores e comunidade em geral que frequentam a Faculdade do Gama vêm enfrentando uma rotina de roubos a carros na área do estacionamento do campus, cujo principal fator seria a da falta de um cercamento, com guaritas, que possibilitassem o controle de pessoas que acessam o local. Os relatos dos alunos que foram vítimas dos furtos alegam, em sua maioria, terem sido levados o estepe e dispositivos de som.

Dessa forma, foi elaborado um diagrama de espinha de peixe para avaliar os principais motivos pelos quais a comunidade da Faculdade do Gama sente-se insegura. Os

problemas elencados apresentam estreita correlação com a falta de estrutura do campus e cercamento do local, ocasionando, por exemplo, a fuga rápida do indivíduo infrator. A falta de câmeras externas, a ausência de policiamento e a localização isolada do campus também facilitam ações criminosas.

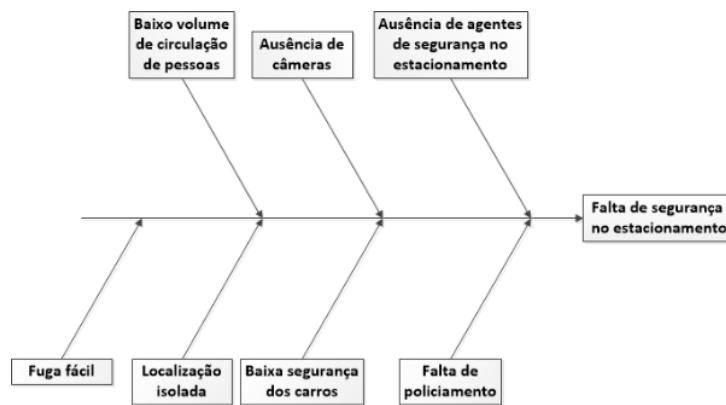


Figura 2: Principais motivos responsáveis pela falta de segurança no estacionamento do campus FGA.

Também, como maneira de obter alguns dados referentes à mobilidade de alunos, professores e comunidade até o campus, o Grupo 1 da disciplina Projeto Integrador 1 decidiu aplicar uma pesquisa sobre o meio de transporte utilizado para descolamento residência-campus, quantas vezes o veículo foi roubado, se o indivíduo prestou alguma queixa formal (boletim de ocorrência) e o(s) ano(s) do ocorrido, caso este utilize automóvel para locomoção.



Figura 3: Questionário sobre mobilidade e segurança do campus.

A pesquisa foi elaborada no aplicativo Google Drive - Formulários e publicada no período do dia 02 de agosto de 2015 ao dia 29 de agosto do mesmo ano no grupo destinado aos alunos e professores da UnB-Gama, na rede social Facebook. Durante este período, 93 pessoas responderam às seis questões propostas no questionário, resultando nos dados apresentados nos gráficos a seguir:

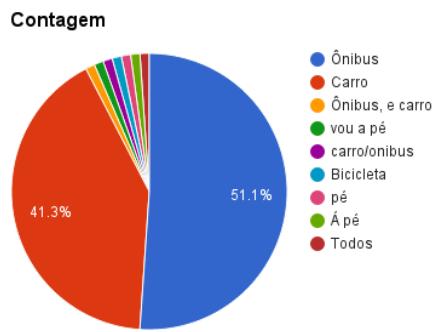


Figura 4: Pesquisa de mobilidade dos alunos da FGA: meios utilizados para deslocamento residência-FGA

O gráfico apresentado na Figura 4 apresenta a distribuição, no espaço amostral, dos meios de transporte utilizados. Mais da metade dos alunos (51.1%) utilizam apenas ônibus para locomoção, 41.3% utilizam apenas o carro como meio de transporte, e os 7.6% restantes se locomovem a pé, de bicicleta, de ônibus ou de carro. Apresenta-se, então, uma significativa frota de carros diária no campus, demandando maiores investimentos para segurança destes bens.

O gráfico apresentado na Figura 5, gerado pelo programa *Numbers*, apresenta, de acordo com a amostra total de usuários de carros, que 11 carros foram furtados e que, deste total, 9 pessoas apresentaram queixa formal, ou seja, boletim de ocorrência. O período dos furtos foi de 2010 a 2015.

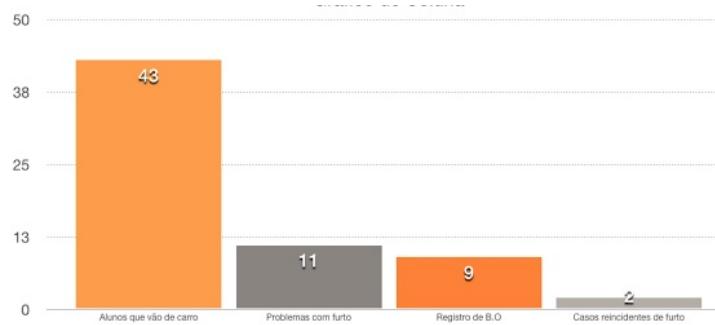


Figura 5: Pesquisa de mobilidade de alunos da FGA: índices de furtos e registros de boletins de ocorrência no período dos anos de 2010 a 2015

Dessa maneira, baseando-se nos dados coletados e avaliando os riscos nos quais os alunos estão submetidos, há, então, a necessidade de se projetar um sistema que, em conjunto com a segurança do campus, possa realizar o monitoramento da área do estacionamento, de maneira eficiente, e fluxo de pessoas, com o objetivo de aumentar o controle de entradas e saídas de veículos e pessoas no campus e alertar às autoridades

responsáveis, em casos de furtos, em tempo hábil para que as medidas necessárias sejam tomadas.

## 2.2 Objetivos

### 2.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral do projeto é desenvolver um sistema que potencialize a segurança já existente no estacionamento do campus da UnB Gama, de modo que este monitore a circulação de carros e movimentações de pessoas, identificando possíveis situações de risco e acionando, com o auxílio de um operador na estação de solo, local para onde serão transmitidas as imagens, as entidades responsáveis pela segurança do campus da Faculdade do Gama para coibir o furto.

### 2.2.2 Objetivos Específicos

## 2.3 Definição do Escopo

O Sistema Unificado de Monitoramento irá fazer o monitoramento de toda a área externa do campus da UnB Gama, em específico da área do estacionamento, que é de 16100 m<sup>2</sup> (delimitada em azul na Figura 6).



Figura 6: Vista aérea do Campus FGA: áreas de estacionamento do campus (Digital Globe, 2015)

O monitoramento será exclusivamente externo, como já definido, e os balões estarão localizados nos térreos dos prédios UED, UAD E RU, de forma que toda a área seja monitorada e não haja pontos cegos. Dessa forma, o monitoramento interno dos prédios

não estará incluído no escopo do projeto, pois o objetivo é o monitoramento do fluxo de pessoas e carros no estacionamento do campus, e este será de responsabilidade total da instituição.

O funcionamento do balão será baseado na captação e processamento de imagens que, posteriormente, serão transmitidas para uma estação de solo, que irá autenticar as informações e, com o auxílio de um operador funcionários da instituição, estas imagens serão interpretadas e, se identificados padrões de atividades caracterizadas como suspeitas ou de furto, as entidades responsáveis pela Faculdade do Gama serão acionadas. A opção de acionamento da polícia não entrará no escopo do projeto, pois o SUM é um mecanismo interno da UnB-Gama e que visa apenas a identificação de possíveis atividades suspeitas e rápida tomada de decisão pela segurança do campus. É importante salientar que não será feita a identificação facial da pessoa que está realizando a atividade suspeita.

O sistema identificará todas as áreas do estacionamento em que houver atividade suspeita, alertando visualmente o operador do sistema e informando o grau de risco da situação identificada. O sistema utilizará os seguintes fatores para calcular o risco de furto numa determinada área:

- Presença de pessoas nas áreas delimitadas como estacionamentos por tempo maior que 30 segundos.
- Aproximação de um raio de 2 metros de um grupo de automóvel por período superior a 5 segundos com pouca movimentação.
- Sair do campo de visão da câmera por mais de 5 segundos estando próximo de um automóvel.
- Tocar constantemente em um automóvel e em um curto espaço de tempo sem adentrar no mesmo.

Os fatores elencados acima terão um valor específico que, em conjunto com outros fatores, definirão as atividades com risco de furto baixo, médio ou alto.

O operador recebendo os alertas visualmente nas telas de monitoramento, conseguirá identificar quais áreas merecem mais atenção quanto à sua observação, sendo seu dever certificar se a atividade suspeita necessita de intervenção por parte da segurança do campus ou se é apenas um alarme falso.

Devido ao custo elevado e incertezas inerentes ao uso de inteligência artificial na identificação de crimes em lugares de grande movimentação e sem controle de fluxo de pessoas, decidiu-se por utilizar este sistema híbrido que concilia a tomada de decisão humana com a praticidade, facilidade e rapidez na identificação de atividades suspeitas feitos por um sistema inteligente, mas não autônomo.

As câmeras a serem utilizadas para monitoramento, e que estarão acopladas à *payload*, serão de longo alcance e infravermelho. As câmeras de longo alcance deverão captar imagens com qualidade suficiente para identificação de movimentação suspeita, abrangendo toda a área do estacionamento. As câmeras de *leds* infravermelhos terão como objetivo o monitoramento noturno.

O SUM será composto pelo conjunto de balões cativos posicionados em locais estratégicos da área externa do campus, especificamente nos terraços dos três prédios do campus, para a melhor visualização das movimentações nas áreas do estacionamento. Os balões irão funcionar até 25 metros de altitude, com capacidade para levantar 10 kg de carga útil, incluindo cabo de energia. O sistema irá funcionar 24/7 (24 horas por dia, 7 dias por semana) devido às várias atividades fora do período de aulas, que é das 8:00 às 18:00 horas. Por exemplo, concursos públicos, aulas da UnB Idiomas, eventos culturais, etc. Contudo, o sistema não irá operar quando houver condições adversas de tempo, como chuva intensa, e tormenta elétrica, devido a possibilidade de danos ao equipamento.

O monitoramento a noite será feito com o uso de câmeras de *leds* infravermelho, como já definido anteriormente. Todavia, avaliando as condições visuais, a altitude do balão e a distância que este estará do estacionamento, pois os *leds* não terão capacidade de identificar atividades suspeitas nas condições supracitadas, sendo necessário a utilização de um sistema de iluminação acionado quando houver detecção de movimento. No entanto, a instalação dos postes não faz parte do escopo deste projeto.

## 2.4 Metodologia de Gerenciamento de Projeto

Para início do projeto, foi elaborada uma análise de requisitos a partir de um documento de visão. O documento de visão desenvolvido fez o uso do diagrama de espinha de peixe para elencar as principais causas da insegurança do campus, definindo em seguida os requisitos a serem trabalhados para a elaboração de uma Estrutura Analítica do Projeto (EAP).

Para a realização do desenvolvimento do projeto SUM, foi necessário estruturar uma metodologia de trabalho em que todos os integrantes do grupo possam interagir e apresentar resultados de maneira rápida e eficaz. E a metodologia que mais se adequa à dinâmica do projeto é o SCRUM.

O SCRUM é uma metodologia ágil para gestão de projetos na área de *software*, que, no contexto da disciplina de Projeto Integrador 1, foi adaptado para o gerenciamento de projetos de engenharia. No SCRUM, as funcionalidades do produto são organizadas em dois artefatos, o *backlog* de produto e o *backlog* da *sprint*. O *backlog* do produto possui uma visão mais abrangente da funcionalidade, enquanto que no *backlog* da *sprint*, essas funcionalidades são refinadas e melhor descritas.

Os seguintes itens do *backlog* do SUM foram planejados:

- Monitoramento aéreo do estacionamento da FGA.
- Facilidade de instalação e manutenção.
- Identificação de problemas de funcionamento interno.
- Transmissão de dados para estação em solo.
- Identificação de atividade suspeita por meio de inteligência artificial.
- Emissão de alerta de atividade suspeita quando identificada.
- Armazenamento de dados coletados por grandes períodos.
- Capacidade de funcionamento temporário quando houver falha de alimentação energética.
- Garantia de cobertura do monitoramento de toda a área do estacionamento.
- Capacidade de controlar altura em relação ao solo.

O backlog de produto será refinado durante as *sprints*, a fim de cumprir as expectativas dos pontos de controle definidos na disciplina de Projeto Integrador 1. Nesse sentido, cada ponto de controle será contemplado por duas *sprints*: a primeira *sprint* cobrirá metade dos itens do backlog de produto com o enfoque necessário para o Ponto de Controle 1; e a segunda *sprint*, cobrirá o restante dos itens do backlog de produto.

A tabela 1 delimita o enfoque de cada ponto de controle:

| Ponto de Controle | Enfoque   |
|-------------------|---|
| 1                 | Definir o escopo dos itens do <i>Backlog</i> de produto, realizar revisão bibliográfica |
| 2                 | Refinar soluções técnicas, modelagem da solução   |
| 3                 | Análise de viabilidade econômica  |

Tabela 1: Enfoque por ponto de controle

A partir do *backlog* do produto foi elaborada a Estrutura Analítica do Projeto (EAP), com o objetivo de subdividir as áreas de pesquisa para desenvolver o projeto. Foram elencadas cinco grandes áreas de pesquisa, que, com o progresso das revisões bibliográficas, puderam ser subdivididos em outros níveis específicos. As áreas de pesquisa não foram subdivididas em engenharias, pois muitos tópicos de pesquisa são integrados e isto limitaria a interação de cada aluno.

As grandes áreas de pesquisa são: logística, estrutura, eletrônica embarcada, estação de solo e sistema aéreo.

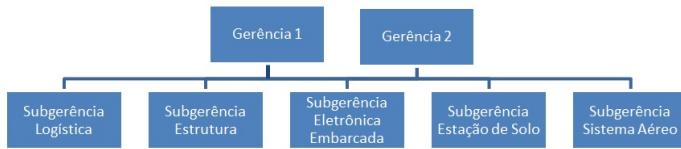


Figura 7: Divisão de gerência e subgerência

Os integrantes do grupo escolheram as áreas que melhor se identificaram para desenvolver as pesquisas ao longo do semestre. Dentre estes, dois foram designados gerentes gerais e outros cinco subgerentes das grandes áreas de pesquisa.

A dinâmica entre os gerentes e os subgerentes foi desenvolvida de maneira com que todas as partes estejam integradas. Alguns requisitos foram estabelecidos para melhor comunicação entre todos os integrantes do projeto:

- Todas as demandas de grupo deverão ser discutidas nas reuniões em horários de aula com a presença de todos os integrantes do grupo.
- As avaliações serão individuais: com o auxílio de uma planilha, os subgerentes deverão avaliar os integrantes do grupo, bem como a gerência geral.
- A gerência geral deverá avaliar todos os integrantes do projeto.
- Reuniões semanais, além das reuniões em horários de aula, com a presença de todos ou apenas subgerência, com frequência mínima de uma por semana.
- Cada subgerente terá a liberdade de desenvolver a dinâmica de grupo que melhor se adequar às necessidades da pesquisa. Contudo, a dinâmica de projeto será a mesma.
- As avaliações individuais supracitadas serão feitas ao final de cada etapa, ponto de controle, e serão avaliados:
- Pontualidade na entrega de atividades: é importante para manter os prazos de entrega da disciplina e para não sobrecarregar outros integrantes.
- Assiduidade nas reuniões: é importante que todos os integrantes estejam presentes nas reuniões estabelecidas, pois a interação destes com o conteúdo discutido é fator sine qua non para a melhor qualidade das pesquisas e compreensão das dificuldades do projeto.
- Conteúdo da pesquisa: fontes bibliográficas confiáveis, concordância no desenvolvimento do tópico.

## 2.5 Cronograma

As atividades para desenvolvimento do projeto SUM, do grupo 1, da disciplina Projeto Integrador 1 deverão ser divididas em etapas, que serão avaliadas nos pontos de controle um, dois e três.

Os cronogramas a seguir apresentam como serão organizadas e direcionadas as tarefas e atividades para elaboração de relatórios para apresentação nos pontos de controle da disciplina. As atividades serão desenvolvidas durante o semestre (tabelas 2, 3 e 4) com a organização datada nos mesmos.

Ao início de cada Ponto de Controle, todos os integrantes devem elaborar uma revisão bibliográfica, ou complementar a anterior, sobre o novo conteúdo a ser desenvolvido e avaliado pelos professores da disciplina. O prazo para a sua elaboração será, sempre que possível, no período de quatro dias. E, com as informações coletadas, seguem as atividades propostas para a elaboração do relatório.

Na quinta-feira anterior ao dia de apresentação do Ponto de Controle, o relatório preliminar deverá ser entregue ao professor orientador para uma revisão geral. Após as correções feitas pelos anos, o relatório poderá ser entregue via *Moodle*.

| Primeiro ponto de controle     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Atividades                     | 21/09 | 22/09 | 23/09 | 24/09 | 25/09 | 26/09 | 27/09 | 28/09 | 29/09 | 30/09 | 01/10 | 02/10 | 03/10 | 04/10 | 05/10 |
| Revisão bibliográfica          | X     | X     | X     | X     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Definição escopo               |       |       |       |       | X     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Revisão 1.0                    |       |       |       |       | X     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Latex                          |       |       |       |       | X     | X     | X     |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Apresentação 1.0               |       |       |       |       |       |       |       | X     |       |       |       |       |       |       |       |
| Revisão 2.0                    |       |       |       |       |       |       |       | X     | X     | X     | X     |       |       |       |       |
| Revisão professor              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     | X     |       |       |       |
| Revisão 3.0                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     |       |       |       |
| Apresentação ponto de controle |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     |

Tabela 2: Cronograma de atividades até o primeiro Ponto de Controle de PI 1.

| Segundo ponto de controle                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Atividades  | 12/10 | 13/10 | 14/10 | 15/10 | 16/10 | 17/10 | 18/10 | 19/10 | 20/10 | 21/10 | 22/10 | 23/10 | 29/10 | 30/10 | 04/11 |
| Revisão bibliográfica   | X     | X     | X     | X     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Aprimoramento de aspectos técnicos                              |       |       |       | X     | X     | X     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Elaboração de simulação Catia                                   |       |       | X     | X     | X     | X     | X     | X     |       |       |       |       |       |       |       |
| Qualidade das justificativa das escolhas (quadros comparativos) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     | X     | X     |       |       |       |
| Revisão 1.0   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     |       |       |       |
| Revisão professor   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     |       |       |
| Revisão 2.0   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     | X     |       |
| Apresentação ponto de controle                                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     |

Tabela 3: Cronograma de atividades para o segundo Ponto de Controle de PI 1.

| Terceiro ponto de controle |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Atividades                 | 11/11 | 12/11 | 13/11 | 14/11 | 15/11 | 16/11 | 17/11 | 18/11 | 19/11 | 20/11 | 21/11 | 22/11 | 25/11 | 27/11 | 30/11 |
| Revisão bibliográfica      | X     | X     | X     | X     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Relação de custo           |       |       |       | X     | X     | X     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Viabilidade econômica      |       |       |       |       |       | X     | X     | X     | X     |       |       |       |       |       |       |
| Revisão                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     | X     |       |       |       |
| Revisão professor          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     |       |       |
| Revisão final              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     |
| Apresentação final         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | X     |

Tabela 4: Cronograma de atividades para o terceiro Ponto de Controle de PI 1.

**Legenda:**

■ Atividade realizada

■ Atividade não realizada

## 2.6 Organização do Documento

O relatório do Ponto de Controle 2 da disciplina de Projeto Integrador 1 do grupo 1 irá abordar, além da definição do escopo do projeto do SUM, o desenvolvimento técnico do sistema do balão de acordo com as grandes áreas de pesquisas definidas na EAP.

O primeiro tópico do desenvolvimento será a proposição de um modelo geral do Sistema Unificado de Monitoramento, explanando de maneira simplificada o seu funcionamento, de modo que o leitor consiga acompanhar os tópicos seguintes referentes à estrutura e sistema aéreo, estação de solo, eletrônica embarcada e consumo energético.

O tópico Subprojeto de Estrutura e Sistema Aéreo apresenta e desenvolve modelos matemáticos aplicados à estrutura do balão cativo, materiais e gás a serem utilizados, bem como os cálculos de volume do balão, empuxo líquido e forças atuantes. O posicionamento dos cabos e a sustentação do mesmo também são

O Subprojeto da Estação de Solo apresenta os dados sobre armazenamento e processamento de imagens, as configurações dos servidores, como será a comunicação do operador da estação com a segurança do campus, a localização da estação de solo.

As configurações das câmeras e dos sensores, estabilização da carga útil em casos de condições climáticas desfavoráveis, manutenção do balão e integração das soluções de hardware e software estão dispostas no Subprojeto de Eletrônica Embarcada.

A análise de melhor opção para alimentação energética do SUM, os dados referentes ao consumo e os diagramas do processo de fornecimento energético estão dispostos no subtópico Consumo Energético.

A integração de todas as grandes áreas de pesquisa e do conteúdo desenvolvido estará no subtópico Integração da Solução, apresentando de maneira técnica todo o funcionamento dos balões cativos, para, por fim, concluir o relatório com os dados e avaliações preliminares.

# 3 Desenvolvimento

## 3.1 Proposta da Solução/Funcionamento do Sistema

O produto foi idealizado como sendo um sistema capaz de integrar vários balões à área a ser monitorada, no estacionamento da faculdade UnB Gama. Neste caso o único fator limitante na distribuição dos balões cativos seria o alcance do sinal de rádio que transmitirá as suas informações ao solo. O sistema de monitoramento (SUM) será disposto em duas partes: balão cativo e estação de solo.

### 3.1.1 Balão cativo

O balão cativo portará os equipamentos de sensoriamento capazes de promover a vigilância do local. Tal balão consistirá de uma bexiga, carga útil, cabeamento de sustentação e base de ancoramento. A bexiga é o componente capaz de gerar uma sustentação, força que move a subida do balão, e que será preenchida com um tipo de gás menos denso que o ar, gerando força para cima.

A carga útil ou *payload*, é a unidade formada por uma estrutura portando todos os equipamentos eletrônicos que promovem o monitoramento desejado. Já o cabeamento de sustentação consiste em três cabos para manter o balão ancorado à superfície (se mantém tracionado), e um cabo para transmissão de energia.

A base de ancoramento consiste de um equipamento eletro-mecânico preso ao terraço dos prédios, possui um rotor tipo carretel acoplado a um motor elétrico, em que o cabo de sustentação fica enrolado. Este equipamento permite a liberação do balão para subir e também o recolhimento deste de volta à superfície.

Toda a transmissão de dados entre o balão e a estação de solo será feita por meio de ondas de rádio em uma faixa de frequências autorizada pelo órgão nacional competente, a ANATEL.

### 3.1.2 Estação de solo

A estação de solo possui como função a recepção dos vídeos transmitidos pelo balão, de forma que um operador possa efetuar um diagnóstico do que acontece no estacionamento do campus. Tal estação deve ser capaz de estabelecer a recepção de vídeos de todos os balões do sistema SUM operantes na área de análise.

O sistema presente na estação de solo identifica se está acontecendo alguma ação suspeita. Ao identificar, aciona os operadores via rádio para que eles verifiquem o motivo

do alerta feito pela estação Figura 8.



Figura 8: Funcionamento SUM

## 3.2 Subprojeto de Estrutura e Sistema Aéreo

### 3.2.1 O Envelope

#### 3.2.1.1 Gás do Balão

Existem duas possibilidades para a escolha do gás do balão cativo, o gás hélio e o gás hidrogênio. A seguir são apresentadas duas tabelas contendo as características físicas dos gases que podem ser escolhidos para o balão. Nas tabelas 5 e 6 as características do hélio e do hidrogênio são tiradas da empresa *Gama Gases*.

| Propriedades   | Valores Numéricos                                     |
|--|---|
| Densidade absoluta, gás a 101.325kPa a 0 °C            | 0.1785 $Kg/m^3$                                       |
| Densidade crítica                                      | 0.5307 $Kg/m^3$                                       |
| Densidade relativa, gás a 101.325 kPa a 0 °C, (ar = 1) | 0.138   |
| Fator crítico de compressibilidade                     | 0.305   |
| Fórmula  | 4He   |
| Massa Molecular  | 4.002602  |
| Pressão crítica  | 229 kPa ; 2.29 bar; 33.2 psia; 2.261 atm.             |
| Viscosidade, gás a 101.325 kPa a 26.8 °C.              | 0.02012 mPa x s; 0.02012 cP.                          |
| Volume específico a 21.1 °C 101.325 kPa                | 6030.4dm <sup>3</sup> / kg; 96.6 ft <sup>3</sup> / lb |

Tabela 5: Características do Hélio([Gama Gases, 2007b](#))

| Propriedades  | Valores Numéricos                              |
|---|--|
| Densidade absoluta, gás a 101.325kPa a 0°C            | 0.08235 $Kg/m^3$                               |
| Densidade crítica                                     | 0.0310 $Kg/m^3$                                |
| Densidade relativa, gás a 101.325 kPa a 0°C, (ar = 1) | 0.0695   |
| Fator crítico de compressibilidade                    | 0.305  |
| Fórmula   | H2   |
| Limites de inflamabilidade no ar.                     | 4.0 à 75% (por volume).                        |
| Massa Molecular                                       | 2,01588  |
| Pressão crítica                                       | 1297 kPa; 12.97 bar; 188.1 psia;<br>12.80 atm. |
| Temperatura de auto-ignição.                          | 844.3 K; 571.2 °C;<br>1060 °F.                 |
| Volume específico a 21.1 °C, 101.325kPa.              | 11967,4 $dm^3/kg$ ; 191,7 $ft^3/lb$ .          |

Tabela 6: Características do Hidrogênio ([Gama Gases, 2007a](#))

O gás hidrogênio a primeira vista é mais vantajoso pois é mais leve que o hélio, sua densidade relativa ao ar é de 0.0695 enquanto que a do hélio é de 0.138, e apresentam um fator crítico de compressibilidade iguais. Porém o hidrogênio possui a característica de ser inflamável, enquanto que o hélio é conhecido por ser um gás inerte. Tendo em vista a segurança dos usuários do estacionamento e dos funcionários responsáveis pela manutenção do balão, a exposição ao sol e a possíveis, porém improváveis, descargas elétricas o hélio se mostra a opção mais vantajosa.

### 3.2.1.2 Material do Envelope

Segundo [Yajima et al. \(2009\)](#), a maioria dos balões atmosféricos são feitos de filme de polietileno. A espessura dos envelopes dos balões usados pela NASA variam de 7 a 90 micrometros dependendo da altitude, funcionalidade, tempo de atividade e peso da payload e etc. Desta forma, cabe analisar que tipo de polietileno será utilizado para a confecção do envelope.

Duas opções de polietileno foram analisadas, o Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD) e o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD). De acordo com [Coutinho, Mello e Maria \(2003\)](#), a temperatura máxima de atuação do PELBD é cerca de 120 °C, sua massa específica varia numa faixa de 0.92 a 094  $g/cm^3$  e possui uma resistência à tração de 37 Mpa.

A outra opção, o PEBD, segundo [Coutinho, Mello e Maria \(2003\)](#), trabalha a uma temperatura máxima de 110 °C, possui uma massa específica de 0.92  $g/cm^3$  e resistência à tração de 24 Mpa.

Analizando as duas opções de polietileno, o PELBD é o material mais adequado ao envelope do balão, pois possui melhor resistência mecânica. O PEBLD é um termoplástico

com elevada capacidade de selagem a quente. É utilizado em filmes para uso industrial, fraldas descartáveis e absorventes, lonas em geral, brinquedos, artigos farmacêuticos e hospitalares, revestimento de fios e cabos.

### 3.2.2 Modelo do Balão

#### 3.2.2.1 Formato do Balão

De acordo com Yajima et al. (2009), existem vários formatos para balões atmosféricos, como o balão esférico, balão cilíndrico, balão tetraédrico e balão formato natural. O sistema mais fácil de ser trabalhado é o balão esférico, pois os cálculos de empuxo, volume, gás apresentam menos complicações. Uma outra característica dos balões esféricos é a possibilidade do uso de uma fita de carga para suspender a payload no equador do envelope, o uso desse artifício tem por objetivo distribuir melhor a tensão na superfície do envelope.

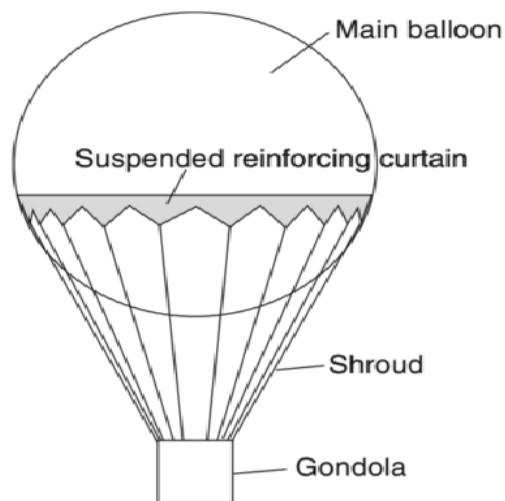


Figura 9: Esquema de Balão Esférico com Fita de Carga.

A fórmula para cálculo da tensão é a seguinte:

$$T = \frac{pr}{2} \quad (3.1)$$

Equação 3.1: Tensão do balão

Em que:

**T** = tensão

**p** = pressão interna do balão

**r** = raio do balão

### 3.2.2.2 Sistema do Balão

Existem dois modelos de balões metereológicos empregados atualmente pela Agência Espacial Americana (NASA), o sistema Zero Pressão (ZP) e o Super-Pressão (SP).

O sistema ZP recebe esse nome porque a pressão interna do balão é a mesma pressão do ambiente de atuação do sistema. Na parte de baixo do envelope do balão existe pelo menos um duto que permite a saída do gás dentro do balão para o alívio da pressão interna ([National Aeronautics and Space Administration, 2008c](#)), como é exemplificado na figura 10.

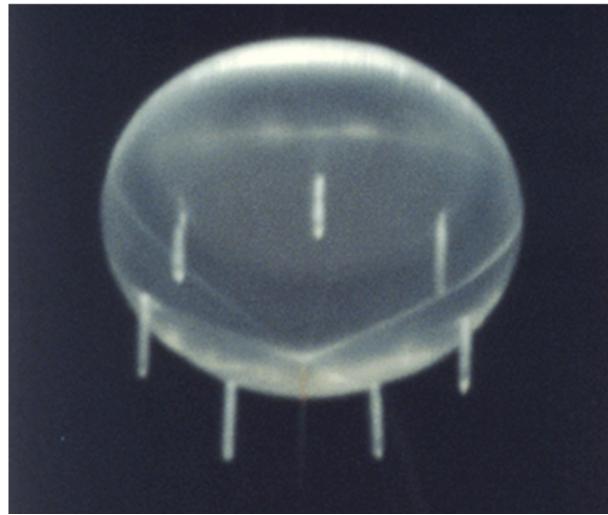


Figura 10: Maior Balão Zero Pressão Usado pela NASA ([National Aeronautics and Space Administration, 2008b](#))

Para esse sistema normalmente é utilizado um material com 20 micrometros de espessura para o envelope. O balão é inflado em terra e é solto na atmosfera até que a força de empuxo seja igual ao seu peso. O duto funciona de tal modo que quando a pressão interna na base do balão excede a pressão da atmosfera exterior, o duto é empurrado para fora e forma uma um cilindro que permite que parte do gás seja expelida. Quando a diferença de pressão é negativa, a pressão atmosférica empurra o duto para dentro, impedindo a entrada de ar. Com a queda de temperatura, o gás esfria e contrai-se, diminuindo o volume e consequentemente o empuxo. Em balões atmosféricos usado pela NASA, para manter a altitude constante durante a noite o balão solta pesos c, como por exemplo areia, durante esse período a quantidade de gás dentro do envelope é a mesma pois o duto se fecha quando o gás se contrai ([Edge of Space Sciences, 2003](#)). Porém, no próximo dia, com o aumento da temperatura o gás irá se expandir, aumentando o volume e subindo mais, pois estará mais leve. Para manter uma altitude a mais constante possível, segundo a [National Aeronautics and Space Administration \(2008c\)](#), um balão desse tipo requer uma perda de 6 a 8% de massa quando a temperatura diminui. O principal problema desse tipo de sistema é a perda de gás pelo duto aberto ao ambiente.

O sistema SP possui a vantagem de ser completamente vedado, ou seja, não perde gás durante seu período de atividade. Por esse fato o balão tem uma pressão interna maior que a pressão externa e isso implica no aumento da espessura do envelope, normalmente cerca de 10 vezes maior que a espessura de um balão ZP (YAJIMA et al., 2009). A Figura 3 mostra a distribuição de pressão de um balão atmosférico da NASA, percebe-se que o equador do envelope é a área de maior concentração de pressão e isso inviabilizaria o uso de uma fita de carga para fixar a payload, nesse tipo de balão a payload é fixada na parte de baixo do envelope, esse fato exige que a parte de fixação seja reforçada para que o envelope não seja danificado.

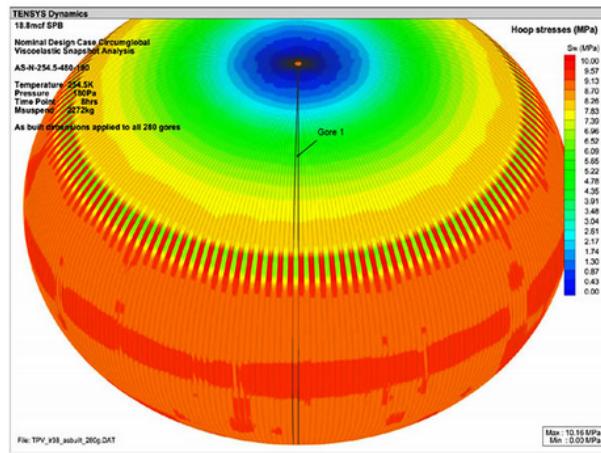


Figura 11: Distribuição de Pressão de um Balão Super Pressão ([National Aeronautics and Space Administration, 2008a](#))

Em linhas gerais o balão ZP é mais leve, porém possui o problema de perder gás durante sua operação. O balão SP tem a vantagem de não perder gás durante sua operação, porém é mais pesado pois precisa ter um envelope mais grosso, e não é possível o uso de uma fita de carga. Pelo fato de ser mais leve, o sistema empregado no projeto do Sistema Unificado de Monitoramento será o balão Zero Pressão. Deve-se calcular e analisar a perda diária de gás e como isso influenciará no empuxo do balão cativo.

### 3.2.2.3 Adaptação do Sistema de Balão para o SUM

Uma vez escolhido o sistema do balão deve-se adaptá-lo a um balão cativo. No caso de um balão preso ao chão o problema da perda de gás devido a variação da temperatura continua a mesma. Com o aumento da temperatura a pressão interna aumenta e pode fazer com que o gás vaze pelo duto, porém o balão não perde altitude desde que o Empuxo Líquido seja maior que zero (o empuxo líquido é a força vertical resultante desconsiderando a tração nos cabos de sustentação). A pressão interna do balão é igual a pressão externa, com a variação da temperatura, a pressão do ar mantém-se aproximadamente constante. Com a queda da temperatura, o gás contrai-se diminuindo o volume do balão e a pressão

interna no instante de queda de temperatura é menor que a externa, desta forma o duto se fecha não permitindo a entrada de ar ou saída de gás, portanto a quantidade de matéria e a pressão dentro do envelope são aproximadamente constantes nessa fase.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (3.2)$$

Equação 3.2: Equação geral dos gases

Usando a equação (3.2) com pressão constante, é possível descobrir a variação do volume do balão quando a temperatura diminui. Utilizando a base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dos últimos 10 anos (entre 2005 e 2015) constata-se uma temperatura máxima média de 32°C (305.15 K) e uma temperatura mínima média de 7.8°C (281 K), temos o seguinte:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{281}{205.15} \implies \frac{V_2}{V_1} = 0.92086 \quad (3.3)$$

Equação 3.3: Equação geral dos gases quando  $V_2 = 281K$  e  $V_1 = 205.15$

Desta forma o volume final ( $V_2$ ) é cerca de 7,9% menor que o volume inicial ( $V_1$ ). Para o aumento da temperatura, ao expandir-se, o gás sai pelo duto mantendo o volume constante (mesmo volume da queda de temperatura), bem como a pressão aproximadamente constante, desta forma deve-se calcular a quantidade de gás perdida durante esse processo utilizando a equação (3.4).

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (3.4)$$

Equação 3.4: Lei dos gases ideais

Em que:

**n** = número de mols

**R** = constante dos gases

Adaptando a equação (3.4) para a situação, **P**, **V** e **R** serão constantes, resultando na variação da quantidade de matéria em função da temperatura, como pode ser visto na equação (3.5).

$$n \cdot T = cte \implies \frac{n_2}{n_1} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{281}{305.15} \implies n_2 = n_1 \cdot 0.92086 \quad (3.5)$$

Equação 3.5: Equação (3.4), adaptada, quando  $T_1 = 281$  e  $T_2 = 305.15$

$$n_f = n_i \cdot 0.92086^t \quad (3.6)$$

Equação 3.6: Quantidade da matéria final

Logo, o balão perde 7.9% de gás por dia. Pode-se calcular a quantidade de matéria final após  $t$  dias através da equação (3.6).

Em que:

$n_f$  = quantidade de matéria final

$n_i$  = quantidade de matéria inicial

$t$  = número de dias

### 3.2.3 Cálculo do Volume do Balão

#### 3.2.3.1 Cálculo Preliminar do Volume do Balão

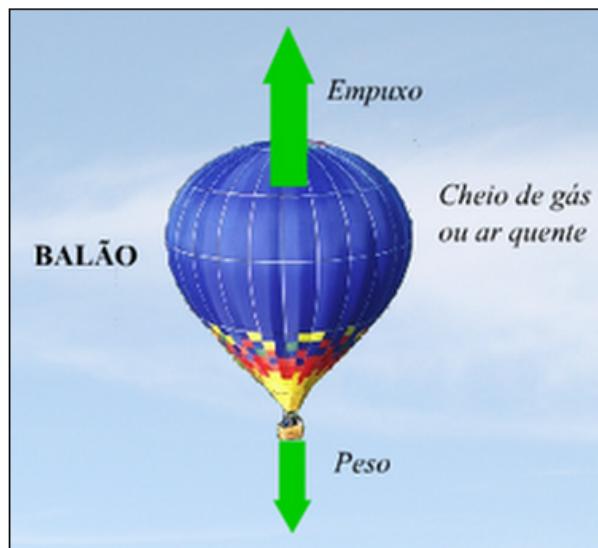


Figura 12: Diagrama de Corpo Livre de um Balão (JUSTINO, 2014)

O volume do balão foi calculado primeiramente desprezando a tensão e o peso dos cabos. O volume do gás Hélio foi calculado da seguinte maneira:

Partindo do princípio de que o volume de gás tem que gerar uma força de empuxo maior que a força peso, como mostrado na figura acima, para que o balão consiga ficar a uma certa altitude. Os cabos de apoio do balão foram desconsiderados nesse cálculo preliminar. A partir disso considerou-se a equação (3.7) para o cálculo de empuxo.

Em que:

$$E = \rho_{ar} \cdot g \cdot V \quad (3.7)$$

Equação 3.7: Fórmula para o cálculo de empuxo (YOUNG; MUNSON, 2004, pp. 63–65)

$\rho_{ar}$  = massa específica do ar

$g$  = aceleração da gravidade

$V$  = volume do fluído deslocado

A massa de helio ( $M_h$ ) é calculada segundo a equação (3.8).

$$M_h = 0.138 \cdot \rho_{ar} \cdot g \cdot V \quad (3.8)$$

Equação 3.8: Fórmula para o cálculo da massa do hélio

A massa de material foi calcula pela equação (3.9).

$$M_h = \rho_m \cdot e_m \cdot A \quad (3.9)$$

Equação 3.9: Fórmula para o cálculo da massa do material

Em que:

$A$  = área do envelope

$\rho_m$  = massa expecífica do material ( $940Kg/m^3$ )

$e_m$  = espessura do material ( $20\mu m$ )

A massa da *payload* foi estimada em cerca de 5kg, e para margem de segurança, os cálculos foram realizados com uma massa de 10kg. A equação (3.10) foi utilizada para realizar o cálculo do balanço das forças.

$$E = g \cdot (M_h + M_p + M_m) \quad (3.10)$$

Equação 3.10: Fórmula para o cálculo do balanço das forças

Substituindo (3.7), (3.8), (3.9) em (3.10), temos a equação (3.11).

Como trata-se de um balão esférico temos que  $V = \frac{1}{3} \cdot 4\pi \cdot r^2$ . Voltando a equação (3.11), isolando e agrupando os termos semelhantes temos:

Substituindo os valores e usando o metodo de Newton (HOFFMAN; FRANKEL, 2001, pp. 174–175) para calcular as raízes de polinômios para resolver a equação (3.12),

$$\rho_{ar} \cdot g \cdot V = g(M_h + M_p + M_m) \quad (3.11)$$

Equação 3.11: Equação resultante de (3.7), (3.8) e (3.9)

$$\frac{1}{3} \cdot \rho \cdot 4\pi \cdot r^3 \cdot (1 - 0.138) - 18.8 \cdot 10^{-3} \cdot 4\pi \cdot r^2 - 10 = 0 \quad (3.12)$$

Equação 3.12: Equação resultante de (3.11)

foi encontrado um valor para o raio de 1.4 metros. Logo o balão teria que ter pelo menos 1.4 metros de raio. A partir desse valor calcula-se o empuxo, o peso do helio, o peso e a quantidade de polietileno que o balão irá precisar. Para o cálculo do empuxo considerou-se  $\text{ar} = 1.11166 \text{ kg/m}^3$ , que é a densidade do ar a 1000m de altitude. Considerou-se  $h = 0.138$  ar que é a massa específica do hélio. A tabela 7 mostra todos os valores de forças verticais atuantes no balão.

| Grandezas                    | Valores Numéricos (N) |
|------------------------------|-----------------------|
| Empuxo                       | 138.1                 |
| Peso do Hélio                | 19.1                  |
| Peso do material do envelope | 4.6                   |
| Peso da Payload              | 100                   |

Tabela 7: Forças Verticais Atuantes no Balão

As contas acima foram realizadas para que se tivesse uma ideia inicial do tamanho do balão e da ordem de grandeza das forças associadas.

### 3.2.3.2 Cálculo Real do Volume do Balão

O balão irá operar em uma faixa de altura entre 20 e 25 metros em relação ao solo, porém o mesmo será fixado no alto dos prédios da Universidade de Brasília no Campus do Gama, esses prédios têm uma altura de 10 a 12 metros dependendo do prédio. Desta forma, foram decididos os pontos de fixação e calculado o tamanho dos cabos, e concluiu-se que os cabos deveriam ter no máximo 20 metros de comprimento.

O cabo de aço escolhido tem um diâmetro de 6,4 mm e tem massa aproximada de 146 gramas por metro, um balão precisa de três cabos de sustentação de 20 metros cada. Desta forma o peso devido a massa dos cabos está descrito na equação (3.13).

$$P_c = C \cdot m \cdot g \cdot n_c \implies 20 \cdot 0.146 \cdot 9,8 \cdot 3 = 86N \quad (3.13)$$

Equação 3.13: Peso dos cabos

Em que:

$P_c$  = peso dos cabos

$C$  = comprimento do cabo

$m$  = massa por unidade de comprimento

$g$  = aceleração da gravidade

$n_c$  = número de cabos

O cabo de alimentação energética tem uma massa aproximada de 50 gramas por metro, como esse cabo não pode sofrer esforço mecânico, ele nunca ficará tensionado e para isso seu comprimento deverá ser maior que o comprimento dos outros cabos. Para o cálculo do peso desse cabo seu comprimento será de 25 metros, procedendo da mesma forma no cálculo dos outros cabos temos:  $25 \cdot 0.05 \cdot 9.8 = 13N$ . Portanto o peso total dos cabos será na faixa de 100 N.

Ainda existem peças que não foram levadas em consideração nessa conta como os mosquetões, sistema de estabilização entre outros. Admiti-se que essa carga extra não ultrapasse o valor de 20 N.

O volume do balão diminuirá com o passar dos dias, visto que a quantidade de matéria diminuirá a uma taxa de 7.9% ao dia, e para não termos que descer o balão em um pequeno intervalo de tempo dobraremos o raio do balão, ficando com um valor de 3 metros. Por margem de segurança usaremos um envelope com 60 micrometros de espessura.

A tabela 3.2.4 mostra todos os valores de forças verticais atuantes no balão. Para o cálculo do empuxo considerou-se  $\rho_{ar} = 1.11166kg/m^3$ , que é a densidade do ar a 1000m de altitude. Considerou-se  $\rho_h = 0.138\rho_{ar}$ , que é a massa específica do hélio.

| Forças                       | Valores Numéricos (N) |
|------------------------------|-----------------------|
| Empuxo                       | 1232.1                |
| Peso do Hélio                | 170                   |
| Peso do material do envelope | 62.5                  |
| Peso dos Cabos               | 100                   |
| Peso Extra                   | 20                    |
| Peso da Payload              | 100                   |
| Empuxo Líquido               | 780                   |

Tabela 8: Forças Atuantes no Balão. Volume de  $113.1m^2$

### 3.2.4 Empuxo Líquido em Função do Tempo

A força resultante gerada por um fluido e que atua nos corpos é denominada empuxo. Esta força líquida vertical, com sentido para cima, é o resultado do gradiente de

pressão (YOUNG; MUNSON, 2004). O empuxo é dado pela equação (3.7). O peso do gás utilizado é dado pela fórmula (3.14).

$$P = \rho \cdot g \cdot V \quad (3.14)$$

Equação 3.14: Fórmula para calcular o peso do gás

Desta forma, a força  $\Delta_F$  para cima do balão é dada pela equação (3.15).

$$\Delta_F = g \cdot V \cdot (\rho_{ar} - \rho_h) \quad (3.15)$$

Equação 3.15: Fórmula para calcular a força  $\Delta_F$

$\Delta_F$  depende do volume do balão. A quantidade de massa, em quilogramas, que sai pelo duto diariamente é diretamente proporcional a quantidade de matéria que sai. No caso do hélio temos  $M_m = \frac{4g}{mol} = \frac{M_g}{n} \implies n = \frac{M_g}{4}$

Em que:

$M_m$  = massa molar

$n$  = número de mols

$M_g$  = massa em gramas

Aplicando na equação (3.15), obtemos a equação (3.16).

$$M_f = M_i \cdot 0.92086^t \quad (3.16)$$

Equação 3.16: Calculo da massa final

Em que:

$m_f$  = massa final

$m_i$  = massa inicial

Como a massa é calculada como  $m = \rho \cdot g \cdot V$ , temos a equação (3.17).

$$V_f = V_i \cdot 0.92086^t \quad (3.17)$$

Equação 3.17: Fórmula para calcular o volume final

Em que:

$V_f$  = volume final

$V_i$  = volume inicial

Substituindo a equação (3.15) na equação (3.17) origina-se a equação (3.18).

$$\Delta_F = \Delta_{Fi} \cdot 0.92086^t \quad (3.18)$$

Equação 3.18: Cálculo da força líquida final

Em que:

$\Delta_{Ff}$  = força líquida final

$\Delta_{Fi}$  = força líquida inicial

O empuxo líquido é dado pela soma de todas as forças verticais excluindo a força de tração nos cabos. Logo temos:

$$E_l = \Delta_{Fi} - (P_c + P_m + P_p + P_e) \quad (3.19)$$

Equação 3.19: Cálculo do empuxo líquido

Em que:

$E_l$  = empuxo líquido

$P_c$  = peso dos cabos

$P_m$  = peso do material do envelope

$P_p$  = peso da payload

$P_e$  = peso extra

Substituindo a equação (3.18) na equação (3.19) podemos saber a variação do empuxo líquido em função do tempo. Sabendo que  $P_c + P_m + P_p + P_e = 283N$  e  $\Delta_{Fi} = 0.862 \cdot 1.11166 \cdot 9.8 \cdot 113.1 = 1062.1N$ , obtemos a equação (3.20).

$$E_l = 1062.1 \cdot 0.92086^t - 283 \quad (3.20)$$

Equação 3.20: Cálculo da variação do empuxo líquido em função do tempo

Através da equação (3.20), é possível estimar o tempo que levará para o balão esvaziar igualando o  $E_l$  a zero e isolando o tempo, obtendo a equação (3.21).

$$t = \frac{\ln 283 - \ln 1062.2}{\ln 0.92086} \implies t = 16 \text{ dias} \quad (3.21)$$

Equação 3.21: Cálculo do tempo gasto para o balão esvaziar

portanto, após 16 dias o balão cairia. A figura 13 mostra o gráfico do empuxo líquido pelo tempo. O tempo ideal para reabastecer o balão com hélio é uma vez por semana, com esse tempo o balão ainda tem um empuxo líquido de 313.14 N.

Uma observação importante é que esses cálculos realizados para predizer o comportamento do balão no tempo levam em consideração que todo dia exista uma variação térmica de cerca de 22 °C, porém sabemos que esse fato não ocorre cotidianamente analisando os dados do INMET.

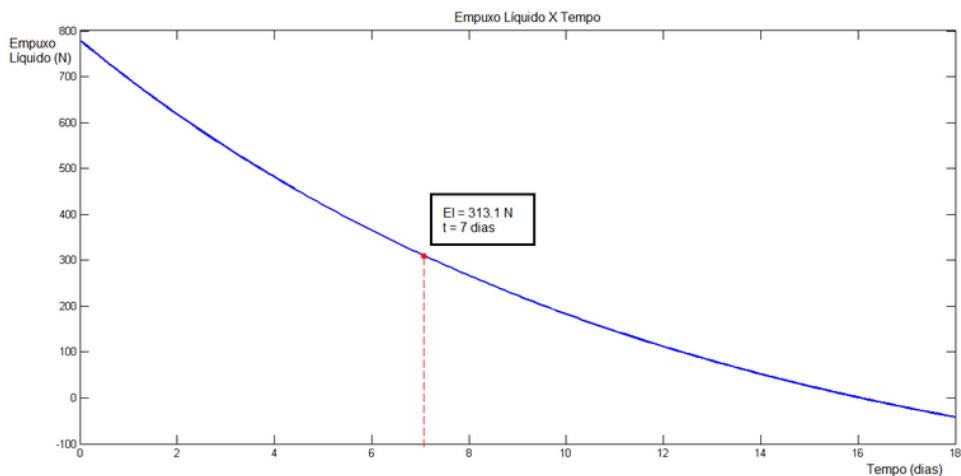


Figura 13: Gráfico do empuxo líquido pelo tempo

### 3.2.5 Forças no Balão

De acordo com Yajima et al. (2009), a força  $\mathbf{F}$  que atua no balão devido ao vento relativo tem duas componentes: A força de arrasto, que atua paralelamente a direção do vento relativo, e a força lateral, que atua perpendicular à direção do vento.

Tais forças são descritas pelas equações (3.22) (3.23).

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_{ar} |v_w - v_b|^2 C_d A b \quad (3.22)$$

Equação 3.22: Força de Arrasto (YAJIMA et al., 2009)

$$F_y = \frac{1}{2} \rho_{ar} |v_w - v_b|^2 C_y A b \quad (3.23)$$

Equação 3.23: Força Lateral (YAJIMA et al., 2009)

Em que:

$\mathbf{F}_d$  = Força de Arrasto;

$\mathbf{F}_y$  = Força Lateral;

$\rho_a$  = Densidade do Ar;

$C_d$  = Coeficiente de Arrasto;

$C_y$  = coeficiente de força lateral efetiva;

$A_b$  = Área Frontal.

Considerando que o balão de monitoramento deve permanecer parado, podemos considerar que a velocidade do balão é nula, e a força de arrasto e força lateral se darão apenas em função da velocidade do vento.

Para o cálculo da força de arrasto e força lateral então é necessário conhecer a velocidade do vento que incidirá sobre o balão. Para determinar a velocidade do vento entramos no Banco de Dados Histórico do Instituto Nacional de Meteorologia ([Instituto Nacional de Meteorologia, 2015](#)). Para termos um valor que nos desse uma margem de segurança analisamos os dados de 01/01/2005 a 01/01/2015. No período avaliado a maior velocidade do vento ocorrida no DF registrada foi de 17 m/s.

O Coeficiente de Arrasto e o coeficiente de força lateral está diretamente relacionado ao número de Reynolds. O número de Reynolds é um número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de determinado fluido dentro de um tubo ou sobre uma superfície. ([BIRD EDWIN N. LIGHTFOOT, 2004](#)). Segundo [Yajima et al. \(2009\)](#), o número de Reynolds para um balão é dado pela equação (3.24).

$$Re_b = \frac{\rho_{ar} D_b |V_w - V_b|}{\mu_a} \quad (3.24)$$

Equação 3.24: Número de Reynolds para balão

Em que:

$Re_b$  = Número de Reynolds;

$D_b$  = Diâmetro do Balão;

$V_w$  = Velocidade do Vento;

$V_b$  = Velocidade do Balão;

$\mu_a$  = coeficiente de viscosidade do Ar .

Considerando que o balão terá um diâmetro de 6m e a Brasília se encontra a uma altitude próxima a 1000m acima do nível do Mar. Temos que:

**Densidade do Ar a 1km de altitude:**  $\rho_a = 1,11166 \text{ Kg/m}^3$  segundo a tabela de atmosfera padrão ([BIRD EDWIN N. LIGHTFOOT, 2004](#));

**Diâmetro do Balão:** 6m;

**Velocidade máxima do vento observada:** 17 m/s;

**Viscosidade do Ar:** 0.01813 mPa.s ([BIRD EDWIN N. LIGHTFOOT, 2004](#)).

Logo, obtemos a equação (3.25).

$$Re_e = \frac{1.11166 \text{ kg/m}^3 \cdot 6\text{m} \cdot 17\text{m/s}}{0.01813 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}} \implies Re_b = 6.354 \cdot 10^6 \quad (3.25)$$

Equação 3.25: Número de Reynolds para balão

A tabela 14 mostra o coeficiente de arrasto do balão em função do número de Reynolds do fluido e do formato do balão. Para o número de Reynolds da ordem de  $6 \times 10^6$  temos um coeficiente de arrasto de aproximadamente 0.2.

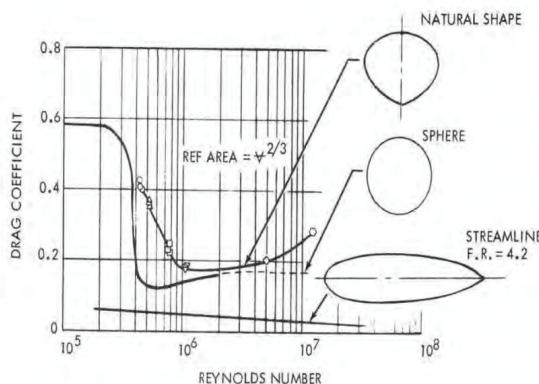


Figura 14: Coeficiente de arrasto do balão em função do número de Reynolds ([MYERS, 1968](#))

Tendo em mão esses valores podemos então calcular a força máxima de arrasto que o balão estará sujeito a partir da (3.22), obtendo a equação (3.26).

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot 1.11166 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot |17\text{m/s}|^2 \cdot 0.2 \cdot 28.273\text{m}^2 \implies F_D = 908.2\text{N} \quad (3.26)$$

Equação 3.26: Força máxima de arrasto que o balão estará sujeito

O coeficiente de força lateral efetiva para um balão que se encontra estacionário é de 0.18 ([FERGUSON, 1989](#)). Podemos observar que nas duas equações este é o único valor que se altera, logo temos que:

$$F_y = 817.38N \quad (3.27)$$

**Equação 3.27:** Força máxima lateral que o balão estará sujeito

Temos então que sobre o balão atuaram as seguintes forças:

**Força de arrasto:** 908.2 N

**Força lateral:** 817.38 N

**Força de empuxo:** 800 N

O que dá origem a equação [\(3.28\)](#).

$$F_D = \sqrt{908.2^2 + 817.38^2 + 800^2} \implies F_D = 1460.458N \quad (3.28)$$

**Equação 3.28:** Força resultante

### 3.2.6 Posicionamento dos cabos

A posição em relação ao balão a qual os cabos estarão fixados possui grande importância, pois o mal posicionamentos deles poderá levar o balão a uma condição de instabilidade, logo prejudicando o monitoramento. O balão será fixado por três cabos, cuja configuração é mostrada pela figura [15](#).

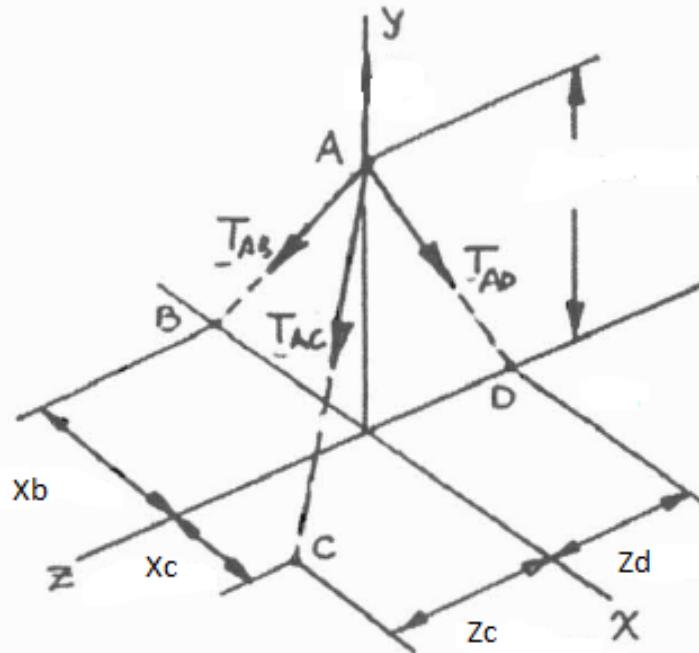


Figura 15: Coordenadas do cabo (BEER et al., 1962)

Serão utilizados cinco balões, que serão posicionados de acordo com a seguinte configuração: dois balões estarão em cima da Unidade de Ensino e Docência (UED) e outros dois balões no terraço na Unidade Acadêmica (UAC). Para estes balões, dois cabos estarão fixados no topo do prédio (pontos B e C na figura) e um terceiro cabo será preso numa haste (ponto C) de 10 m de altura que ficará a uma determinada distância dos prédios. O quinto balão ficará posicionado em cima do restaurante universitário (RU), onde dois cabos serão fixados em cima do RU (pontos B e D) e o terceiro cabo será preso a uma haste (ponto C) que possui a altura do restaurante universitário.

Para que o balão fique em uma posição de equilíbrio o sistema de equações (3.29).

$$\left[ -\frac{x_b}{L_B} \cdot T_{AC} - \frac{Y - Y_p}{L_b} \cdot T_{AB} \cdot 0 - \frac{x_c}{L_C} \cdot T_{AB} - \frac{Y - Y_h}{L_C} \cdot T_{AC} \cdot \frac{Z_c}{L_C} \cdot T_{AC} \cdot 0 \right] \quad (3.29)$$

Equação 3.29: Posição de equilíbrio do balão

Em que:

**L<sub>B</sub>** = Comprimento do cabo do ponto A até o ponto B

**L<sub>C</sub>** = Comprimento do cabo do ponto A até o ponto C

**L<sub>D</sub>** = Comprimento do cabo do ponto A até o ponto D

**E<sub>L</sub>** = Empuxo líquido

$F_D$  = Força de arrasto

$F_{dx}$  = Componente - x da força aerodinâmica

$F_{dz}$  = Componente - z da força aerodinâmica

$Y$  = Altura do balão

$Y_p$  = Altura do prédio

$Y_h$  = Altura da haste

A melhor abordagem para resolver este sistema é definir aonde estarão fixados os cabos ( $x_b, x_c, z_c, z_d$ ) e estabelecer o comprimento de cada cabo ( $L_B, L_C, L_D$ ), logo as incógnitas serão as forças em cada cabo ( $T_{AB}, T_{AC}, T_{AD}$ ). Portanto, deve-se escolher as posições dos cabos que forneçam valores de forças fisicamente possíveis. Outro ponto importante é que a força do cabo que é fixado na haste seja bem inferior em relação as forças dos cabos preso aos prédios, logo será necessário o uso de uma haste com simples resistência a tração, ao invés de uma haste com boas propriedades mecânica no entanto de custo elevado.

Para as condições de projeto:

O empuxo líquido,  $E_L$ , foi calculado anteriormente, o seu valor é de 800 N. A força de arrasto,  $F_D$  é de aproximadamente 880 N. Portando a força total exercida nos cabos é de aproximadamente 1200 N. Assume-se que a força de arrasto é dividida igualmente entre a componente x e z:  $F_{dx} = 440$  N e  $F_{dz} = 440$  N.

- Altura do balão = 10 m
- Altura do UED = 10 m
- Altura do UAC = 10 m
- Altura do RU = 4 m
- Altura da haste = 10 m

|     | $X_b$ m | $X_c$ m | $Z_c$ m | $Z_d$ m | $L_b$ m | $L_c$ m | $L_D$ m | $\Theta_B$ | $\Theta_C$ | $\Theta_D$ |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|------------|
| UED | 18,0    | 5,0     | 10,0    | 18,0    | 23,5    | 18,7    | 23,5    | 39,8       | 45,0       | 39,8       |
| UAC | 18,0    | 5,0     | 10,0    | 18,0    | 23,5    | 18,7    | 23,5    | 39,8       | 45,0       | 39,8       |
| RU  | 25,0    | 5,0     | 15,0    | 25,0    | 32,7    | 26,3    | 32,7    | 40,3       | 46,4       | 40,3       |

Tabela 9: Posição, comprimento e ângulo dos cabos

Portanto, para os balões presentes no UED e UAC, o cabo fixado na haste ficará aproximadamente a 12 metros do prédio, e os cabos que estão presos no terraço estão a

aproximadamente 18 metros do balão. Para o balão posicionado no RU, o cabo na haste estará a 16 metros do prédio, e os cabos fixados no topo do prédio a 25 metros do balão.

|     | $T_{AB}$ [N] | $T_{AC}$ [N] | $T_{AD}$ [N] |
|-----|--------------|--------------|--------------|
| UED | 588,53       | 45,35        | 604,31       |
| UAC | 588,53       | 45,35        | 604,31       |
| RU  | 585,13       | 42,28        | 606,14       |

Tabela 10: Módulo das tensões

### 3.2.7 Sustentação do SUM

O Balão Cativo será fixado em três pontos diferentes para que seja garantida sua estabilidade considerando ventos laterais de qualquer direção, adotou-se o modelo de balão de zero pressão de formato esférico preenchido com gás hélio. No caso dos balões de zero pressão há uma perda diária do volume de gás de cerca de 8%. O volume de gás hélio no balão será de  $113\text{m}^3$  e, considerando as perdas diárias, estima-se que a cada sete dias haverá a necessidade de efetuar uma reposição desse gás para garantir o bom funcionamento do monitoramento do estacionamento, onde o empuxo gerado pelo gás seja suficiente para manter uma altitude de 20m.

A fixação será adaptada para cada um dos balões, pois como estarão em lugares distintos e estratégicos estudaremos cada um dos três pontos de fixação. A manutenção do balão será feita em solo, por exemplo: no caso de reposição do gás, na reparação de algum item interno da payload e etc. Para tal iremos utilizar dois motores elétricos para puxar o balão até o solo, os motores estarão fixos no chão onde será definido o local onde o cabo de sustentação será fixado, ou seja, o cabo de sustentação estará sendo regulado pelo motor.

De acordo com cálculos realizados previamente, a força resultante do balão será de aproximadamente de 6.4 KN. A partir destas informações, escolhemos o motor vendido pela empresa Bremen com a capacidade de 7240 Kg, potência de 4500W, 12V de tensão e pesando 52,5 Kg. A seguir encontra-se a tabela de motores vendidos pela mesma empresa.

| Código | Capacidade Carga (lb - kg) | Potência (W) | Cabo Aço (m) | Dimensões AxLxP (mm) | Peso (kg) |
|--------|----------------------------|--------------|--------------|----------------------|-----------|
| 5964   | 8500 (3863)                | 3800         | 5/16x24      | 532x160x218          | 37,000    |
| 4561   | 9000 (4080)                | 4000         | 5/16x28      | 530x160x218          | 38,000    |
| 5262   | 12000 (5443)               | 4500         | 3/8x26       | 542x160x218          | 40,000    |
| 6067   | 16000 (7240)               | 4500         | 1/2x26       | 555x196x249          | 52,500    |
| 6740   | 20000 (8500)               | 4800         | 1/2x22       | 555x196x249          | 54,000    |
| 7901*  | 12000 (5443)               | 4500         | 3/8x26       | 542x160x218          | 40,100    |
| 7959*  | 9000 (4080)                | 4500         | 5/16x28      | 530x160x218          | 38,000    |
| 7960*  | 16000 (7240)               | 4500         | 1/2x26       | 555x196x249          | 52,500    |

Figura 16: Tabela ilustrativa dos tipos de motores disponíveis ([Bremem Importados, 2015](#))



Figura 17: Modelo de motor elétrico escolhido ([Bremem Importados, 2015](#))

A Figura 18 ilustra como será o motor. Para este motor será efetuada uma simples adaptação no cabo, onde será substituído o cabo de fábrica pelo cabo de aço classe 8x19 – Alma de Fibra com diâmetro de 6,4 mm. A alteração foi necessária em consideração ao peso do cabo, pois o mesmo é mais leve em relação ao cabo de aço comum, e também possui boas propriedades mecânicas como mostrado na tabela a seguir:

| Diâmetro |       | Massa Aprox. (kg/m) | Carga de Ruptura Mínima (tf) |
|----------|-------|---------------------|------------------------------|
| mm       | pol.  |                     | TS                           |
| 6,4      | 1/4"  | 0,146               | 1,83                         |
| 8,0      | 5/16" | 0,223               | 2,86                         |
| 9,5      | 3/8"  | 0,315               | 4,10                         |
| 11,0     | -     | 0,445               | 5,42                         |
| 13,0     | 1/2"  | 0,560               | 7,50                         |
| 16,0     | 5/8"  | 0,880               | 11,50                        |

Figura 18: Propriedade do cabo Alma de Fibra ([Acro Cabos de Aço, 2015](#))

### 3.3 Subprojeto da Estação de Solo

#### 3.3.1 Estrutura

#### 3.3.2 Armazenamento

Neste projeto será utilizada a câmera Waveshare OV5647 Night Vision. É uma câmera já voltada para sistemas de vigilância, muito utilizada em escritórios e shoppings.

Serão utilizadas, no total, 15 câmeras do modelo Waveshare ov5647, e para conseguir armazenar os videos gravados utilizaremos o HD Seagate Archive 8TB. Como o sistema funcionará 24x7, ou seja, 24 horas por 7 dias da semana, o servidor irá passar as imagens caso a situação seja considerada de risco, as imagens irão para o HD a uma taxa de 1024 Kbps, em um mês (considerando um mês como 30 dias), será gasto um total de 4.63TB.

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Capacidade                  | 8TB            |
| Modelo                      | ST8000AS0002   |
| Interface                   | SATA de 6 GB/s |
| Velocidade da rotação       | 5900 RPM       |
| Cache                       | 128 MB         |
| Impacto máximo de operação  | 80 Gs          |
| Tipo de armazenamento       | HDD            |
| Comprimento                 | 147.00 mm      |
| Largura                     | 101.85 mm      |
| Altura                      | 26.1 mm        |
| Peso típico                 | 795 g          |
| AFR                         | 0.55%          |
| Potência média de operação  | 7.500 W        |
| Taxa de transferência       | 600 MB/s       |
| Taxa de dados sustentada DE | 180            |

Tabela 11: Especificações da Seagate® Archive 8TB ([SEAGATE, 2015](#))

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Processador              | Intel Core i7 - 4700K   |
| Placa-mãe                | ASRock Z87Killer  |
| Memoria                  | 16 GB G. Skill Spiner (DDR 3 - 1600/PC3 - 12800), configurada a 1600MHz |
| Placa de vídeo           | GeForce GT 630 1GB  |
| Resolução de vídeo       | 1920x1080   |
| Fonte de alimentação     | Corsair CX500M  |
| Unidade de inicialização | Kingston HyperX 3k 480 GB   |

Tabela 12: Configuração de Hardware

Em tempos de muitas chuvas, ocorre uma grande variação de energia, devido às descargas elétricas de raios. Para que não se tenha o problema de o sistema parar de funcionar por falta de energia, e pela variação de energia, não chegar a queimar o sistema ou danificar o sistema, será utilizado um equipamento que armazenar energia por algum tempo.

O equipamento utilizado para o sistema de energia nobreak, será o **Nobreak Organizador e Fonte para 16 câmeras**, da tecnologia ONAT. Com este equipamento, o armazenamento de dados terá em média 4 horas de autonomia, ou seja, caso por algum motivo a luz acabe o sistema terá em média 4 horas funcionando perfeitamente ([Viver com segurança, 2015](#)).

O Seagate para gravação e backup de imagens deverá ser alimentado pelo sistema de energia (nobreak), de forma a possibilitar a operação em caso de falta de energia elétrica.

|                               | Unidades | Preço de uma unidade | Preço total  |
|-------------------------------|----------|----------------------|--------------|
| Waveshare OV5647 Night Vision | 15       | R\$ 123.34           | R\$ 1850.10  |
| Seagate® Vídeo 3.5 HDD        | 4        | R\$ 984.90           | R\$ 3939.60  |
| Sistema Nobreak               | 1        | R\$ 396.90           | R\$ 396.90   |
| Hardware                      | 1        | R\$ 5271.86          | R\$ 5271.86  |
|                               |          |                      | R\$ 11458.46 |

Tabela 13: Tabela de preços

### 3.3.3 Comunicação da estação de solo com a segurança

O sistema de comunicação será dado de maneira manual, ou seja, terá uma pessoa na estação de solo que será responsável por analisar os monitores de vigilância que informam as áreas de possíveis situações de risco mediante a pontuação preestabelecida no sistema. E caso seja necessário, o operador irá alertar um segurança para que ele possa averiguar tal situação. O sistema será uma ferramenta para o operador, auxiliando e facilitando o monitoramento do estacionamento.

Essa comunicação será dada via voz, utilizando um rádio comunicador, ou walk talk. Este meio de comunicação é bem utilizado em sistemas de vigilância de escritórios, shoppings, em construções civis ou em operações de policiais e bombeiros.

Os Walkie Talkies tem um alcance relativamente alto, exatamente o necessário para suprir a carência de sinal de celular presente na área da FGA, e este equipamento terá um alcance de 56km. Neste sistema de monitoramento será utilizado o rádio comunicador walk talk Cobra Cxr925 56km.

|             |                              |
|-------------|------------------------------|
| Peso        | 68g                          |
| Alcance     | 56 km                        |
| Dimensões   | 177.50mm x 49.00mm x 33.00mm |
| Frequência  | 22 canais                    |
| Alimentação | 110 V                        |
| Preço       | R\$ 415.99                   |

Tabela 14: Especificações e preço do Walk Talk Cobra Cxr925 56km ([LOVICON, 2015](#))

### 3.3.4 Processamento dos dados

Para o armazenamento se tornar eficiente e confiável, além de resiliente, será implementado o padrão RAID(**Redundant Array of Independent Disks**) em seu nível um também conhecido por Mirror.

Todas as informações vindas processadas para armazenamento serão copiadas simultaneamente em dois HDs, reduzindo a performance porém mantendo assim a segurança, pois caso haja algum problema técnico em um dos armazenamentos, não haverá nenhuma perda de informação. Neste projeto serão utilizados 4 Seagate® Vídeo 3.5 HDD para o armazenamento das imagens do monitoramento, formando 2 pares de HDs, que serão redundantes ([GREAVES, 2015](#)).

Cada par será capaz de armazenar informações por 30 dias, uma vez cheio as informações passarão a ser armazenadas no par ocioso, formando assim um total de 60 dias de armazenamento de informação, ao final deste período, informações armazenadas serão a ser eliminadas, sendo assim necessário realizar cópias para outros dispositivos caso seja necessário o uso em um período posterior. O tempo em média para recuperação das imagens será de uma a duas horas.

#### 3.3.4.1 Redundância de software

Um software bem projetado corretamente desde a sua elaboração, não necessita de técnicas de tolerância para software, mesmo que ainda não seja possível garantir na prática que todo programa estarão corretos ([WEBER, 2003](#)).

As formas usuais de redundância de software são:

- Diversidade (ou programação n-versões)
- Blocos de recuperação

#### 3.3.4.1.1 Diversidade

Diversidade, também chamada programação diversitária, é uma técnica de redundância usada para obter tolerância a falhas em software. A partir de um problema a ser solucionado são implementadas diversas soluções alternativas, sendo a resposta do sistema determinada por votação.

Os erros, para poderem ser detectados, devem se manifestar de forma diferente nas diversas alternativas, ou seja, devem ser estatisticamente independentes. Experimentalmente foi comprovado que o número de erros idênticos (erros que não seriam detectados) é consideravelmente menor que o número total de erros.

Diversidade pode ser utilizada em todas as fases de desenvolvimento do projeto. Essa técnica é chamada de projeto diversitário quando o desenvolvimento do sistema é realizado de forma diversitária e de programação em várias versões quando se restringe à implementação do sistema.

Os pontos negativos dessa técnica devem ser colocadas em pauta, como o aumento dos custos de desenvolvimento e manutenção, a complexidade de sincronização das versões e o problema de determinar a correlação das fontes de erro.

#### 3.3.4.1.2 Blocos de recuperação

Nessa técnica programas secundários só serão necessários na detecção de um erro no programa primário. Essa estratégia envolve um teste de aceitação. Programas são executados e testados um a um até que o primeiro passa no teste de aceitação. A estratégia de blocos de recuperação tolera  $n-1$  falhas, no caso de falhas independentes nas  $n$  versões.



Figura 19: Local da Estação Solo

### Diagrama de Caso de Uso

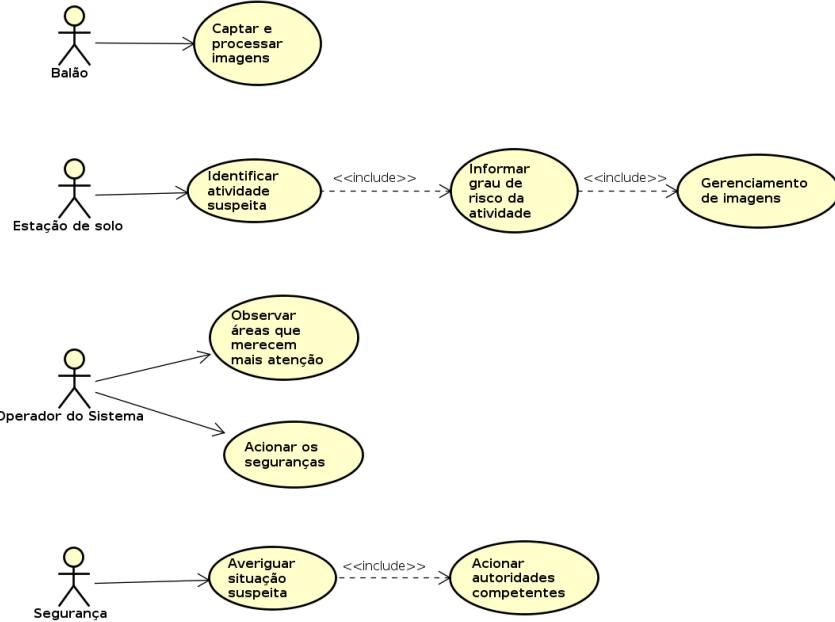


Figura 20: Diagrama de Caso de Uso

### Operacionabilidade do Sistema

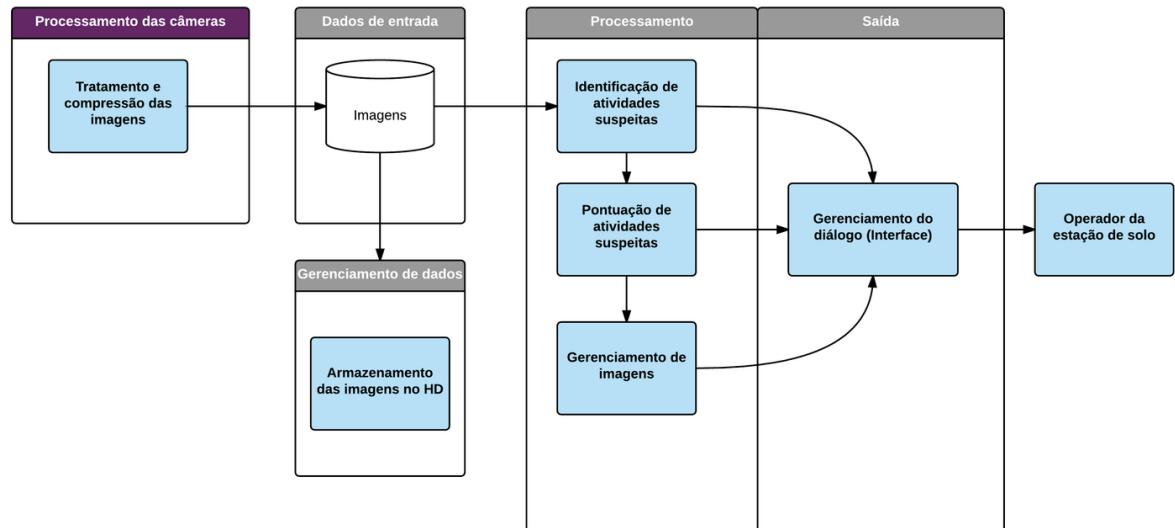


Figura 21: Diagrama de Arquitetura: Operacionalibilidade do Sistema

O sistema funcionará da seguinte maneira: no balão ocorrerá o processamento e tratamento das imagens recebidas (Processamento das câmeras). Após serem tratadas, estas imagens serão armazenadas em um HD da estação de solo(Gerenciamento de dados).

Em outro processo paralelo, estas imagens irão fornecer os dados para que o sistema execute suas funcionalidades, como o gerenciamento das imagens, a identificação e pontuação das situações de risco (Processamento). E a saída do sistema será por meio de uma interface que interagirá com o operador da estação de solo.

### 3.3.5 Processo de Monitoramento

O processo de monitoramento do Sistema Unificado de Monitoramento (SUM), relativo ao modus operandi dos agentes do sistema, é ilustrado pelo diagrama a seguir:

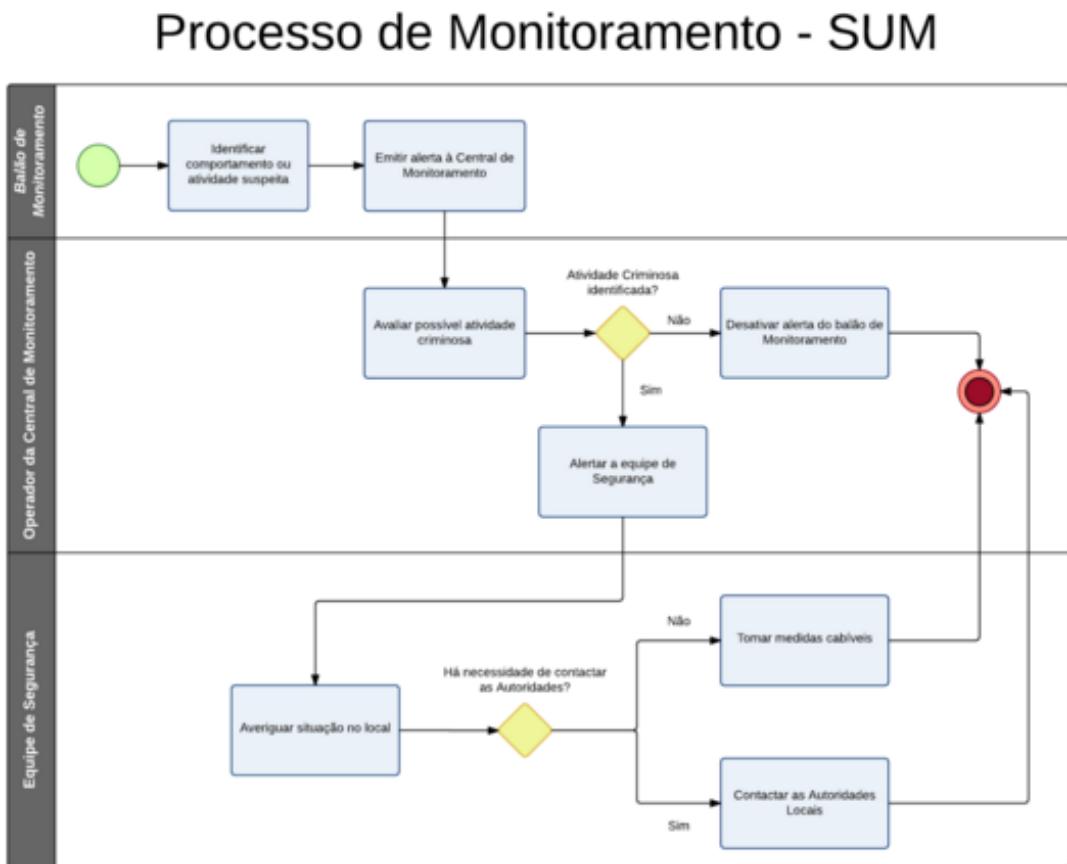


Figura 22: Processo de Monitoramento

As atividades contempladas neste processo estão descritas abaixo:

**Identificar comportamento ou atividade suspeita** - O processo é iniciado a partir da identificação de comportamento ou atividade suspeita por parte do balão de monitoramento, que leva em consideração fatores de risco que determinam se uma atividade é normal, duvidosa ou suspeita.

**Emitir alerta à central de Monitoramento** - Nesta atividade o sistema do balão, após ter identificado uma atividade suspeita nas dependências do estacionamento, emiti um sinal de alerta à Central de monitoramento contatando o operador do sistema.

**Avaliar possível atividade criminosa** - Nesta atividade o operador do sistema, após ter sido notificado pelo balão sobre uma atividade suspeita, acompanhará através das câmeras de vídeo do balão, em tempo real, a ação do suspeito, avaliando se esta é uma atividade criminosa.

**Desativar alerta do balão de monitoramento** - Nesta atividade o operador do sistema, após ter recebido e avaliado o alerta de atividade suspeita emitido pelo balão e concluído que este não retrata uma atividade criminosa, desativará o alerta do balão para aquela ação em específico, encerrando o processo.

**Alertar a equipe de Segurança** - Nesta atividade o operador do sistema, após ter concluído que o alerta do balão se trata de fato de uma atividade criminosa, irá contactar a equipe de Segurança em campo emitindo um alerta via rádio.

**Averiguar a situação do local** - Nesta atividade a equipe de Segurança, após receber um alerta do operador do sistema sobre uma atividade criminosa, irá averiguar a situação , no local informado, para avaliar a possibilidade de intervenção e/ou impedimento da ação criminosa.

**Tomar medidas cabíveis** - Nesta atividade a equipe de Segurança, após concluir que há possibilidade de intervenção e/ou impedimento da ação criminosa, tomará as medidas cabíveis para que o infrator seja detido, encerrando o processo.

**Contactar as autoridades locais** - Nesta atividade a equipe de Segurança, após concluir que não há possibilidade de intervenção e/ou impedimento da ação criminosa por quaisquer razões, irá contactar as Autoridades locais responsáveis para que estes tomem as medidas cabíveis à situação.

## **Requisitos do Sistema de Monitoramento**

| Sigla | Descrição               |
|-------|-------------------------|
| NEC   | Necessidade             |
| CAR   | Característica          |
| UC    | Casos de uso            |
| RNF   | Requisito Não-Funcional |

Tabela 15: Requisitos do Sistema de Monitoramento

### Necessidades

A partir do processo de monitoramento descrito no tópico acima abstraiu-se as necessidades dos agentes do sistema.

As necessidades são:

- NEC01 - O operador do sistema precisa receber um alerta do sistema de monitoramento quando houver uma atividade suspeita ocorrendo no estacionamento.
- NEC02 - O operador do sistema precisa visualizar em tempo real a ação do suspeito através das câmeras do balão de monitoramento.
- NEC03 - O operador do sistema precisa conseguir aproximar a imagem de forma a ser possível enxergar detalhes da ação do suspeito.
- NEC04 - O operador do sistema precisa visualizar áreas específicas do estacionamento para acompanhar o que ocorre em cada setor.

### Características

As características deviradas a partir das necessidades dos agentes do sistema são:

- CAR01 - O sistema irá prover alertas de atividade suspeita na interface do usuário.
- CAR02 - O sistema deve permitir que um alerta de atividade suspeita seja desativado.
- CAR03 - O sistema deve permitir o acesso às câmeras de vídeo do balão de monitoramento.

#### 3.3.6 Identificação de Risco

O sistema SUM, como sabemos, será operado por um operador que terá como responsabilidade observar possíveis casos de roubos a carros. A decisão final sobre a possibilidade de ser um roubo real ou não, cabe ao operador, que terá apoio do sistema para chegar a conclusão final.

Como o estacionamento da Universidade de Brasília - Campus Gama recebe um número muito grande de carros, é impossível responsabilizar apenas um operador para observar todos os carros ao mesmo tempo, verificando as possibilidades de possíveis roubos ocorrendo, inclusive, em paralelo.

Para solucionar este problema, o sistema SUM apoiará o operador na escolha de casos suspeitos a serem observados. Ou seja, o sistema apresentará ao operador todos os casos de possíveis roubos ocorrendo no momento, especificando os casos mais importantes e menos importantes.

Utilizando o sistema, o operador saberá exatamente quais imagens merecem atenção e até quais imagens merecem mais atenção que outras imagens, dependendo da quantificação do risco, que é feita pelo sistema. Esta quantificação é feita a partir da observação de critérios que identifiquem um possível caso de roubo a carro.

### 3.3.6.1 Quantificação do Risco

Com o objetivo de selecionar as imagens mais importantes a serem analisadas pelo operador, o sistema SUM deverá realizar uma quantificação de critérios que levem a definição de um possível caso de roubo a carro. Estes critérios foram obtidos após a análise de inúmeras imagens que registraram casos de roubo a carros em estacionamentos universitários.

Os critérios possuem pesos para quantificação, dependendo do quanto crítico é o critério analisado. A ponderação dos critérios pode ser observada na tabela a seguir:

| Critérios                        | Descrição  | Peso |
|----------------------------------|--|------|
| Proximidade                      | Distância de 2m, ou menos, entre um suspeito e o carro analisado.                              | 1    |
| Permanência próximo ao carro.    | Tempo em que o suspeito permanece ao lado do carro analisado ultrapassa os 30 segundos.        | 2    |
| Contato físico com a porta.      | O suspeito mantém contato físico com a porta por mais de 10 segundos.                          | 3    |
| Contato físico com o Porta-Malas | O suspeito mantém contato físico com o porta-malas do carro analisado por mais de 20 segundos. | 3    |
| Alarme                           | O alarme do carro analisado está disparando.   | 5    |

Tabela 16: Identificação dos Critérios de Risco

Em momento algum o sistema chegará a conclusão de que é um roubo em execução ou não, ele apenas apontará imagens que se enquadram em um possível caso de roubo a carros. A identificação das imagens mais importantes será feita a partir da geração de um

Ranking de possíveis casos. Este Ranking será gerado a partir da somatória dos critérios identificados em cada caso.

O Ranking de imagens será apresentado ao operador na forma de um “mosaico” de imagens, que receberão tons de amarelo a vermelho, dependendo de sua importância no momento. O operador poderá selecionar a imagem para poder controlar a câmera e visualizar a imagem da forma que desejar, verificando se o caso se refere a um caso de roubo ou apenas um engano.

Para captação destes critérios, o sistema deverá possuir sensores de calor e proximidade, alem das imagens obtidas pelas câmeras.

### 3.4 Subprojeto da Eletrônica Embarcada

A eletrônica embarcada do projeto tem como base 3 microcontroladores: o Arduino, o Raspberry Pi e o Galileo.

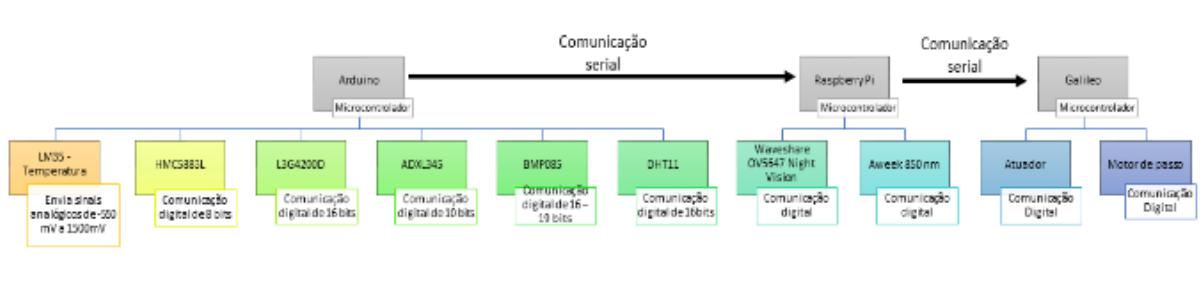


Figura 23: Funcionamento geral da eletrônica embarcada no SUM

A figura 23 mostra o funcionamento geral da eletrônica embarcada do projeto. Os sensores que auxiliarão na estabilização do balão serão: LM35(Temperatura), HMC5883L(Bússola), L3G4200D(movimento), ADXL345(accelerômetro), BMP085(pressão) e DHT11(umidade). Estes sensores estarão conectados em um Arduino UNO que, por sua vez, interpretará os dados dos sensores e mandará suas informações em série para o Raspberry Pi, que também estará conectado a um painel composto por vários LEDs para iluminação em infravermelho, o Aweek. Por fim, O Raspberry Pi mandará as informações para o microcontrolador Intel Galileo Gen 2, indicando se será necessária a estabilização da estrutura, de acordo com a interpretação feita pelo Arduino. Caso seja necessária a estabilização, o Galileo decidirá se ativará um motor de passo para realizar a estabilização através do trilho situado na payload, ou se ativará o atuador Reaction Wheel.

Raspberry Pi estará sendo utilizado também para transmitir as imagens em tempo real para a central. Ele receberá os dados da câmera, através do seu conector específico para câmera, e cada balão passará as informações para o balão mais próximo da central,

a comunicação entre eles será sem fio montando uma rede intranet. O balão que esta recebendo tudo, transmitirá para a central através de um cabo de ethernet e o computador que recebe realizará todo o procedimento desejado com as imagens.

### 3.4.1 Microcontroladores e microprocessadores

Os microcontroladores e microprocessadores serão responsáveis por integrar todas as atividades do sistema, seja a aquisição, armazenamento, transmissão de dados, obtidos por sensores ou câmeras, conversão de dados analógicos em digitais ou o controle do sistema. Essas atividades exigirão determinados requisitos, de acordo com a sua aplicação. Logo, vê-se a necessidade de especificar os microprocessadores e microcontroladores responsáveis por cada setor. A iniciativa de usar um microcontrolador é baseada no fato deste possuir diversos periféricos e um processador embutidos em um único circuito integrado. Esta característica minimiza o tamanho físico do projeto e facilita a implementação de várias aplicações (PRADO, 2009). Contudo, as CPUs dos microcontroladores são menos poderosas do que as dos microprocessadores, suas instruções, geralmente, se limitam às instruções mais simples, sua frequência de clock é menor e seu espaço de memória endereçável costuma ser menor (RUCINSKI, 2004).

Em condições desfavoráveis, como por exemplo um fluxo de ar inesperado, a rápida estabilização do balão se mostra essencial para a captação das imagens, visando sua qualidade. O setor voltado para o controle e estabilização exigirá uma frequência de clock muito alta, pois esta deverá ser realizada rapidamente. Portanto, essa função será desempenhada pelo Intel Galileo Gen 2, pois este admite frequências de clock de até 400 MHz. Além disso, é compatível com os shields feitos para Arduino UNO e com o seu ambiente de desenvolvimento (IDE), o que torna sua codificação mais prática.

Para os setores de armazenamento e transmissão de imagens das câmeras, o Raspberry PI 2 foi considerado o ideal, dado sua eficiência em termos de processamento de dados. Outra vantagem de se utilizar o Raspberry é a sua compatibilidade com a linguagem Python, o que facilitará o desenvolvimento do algoritmo responsável pela compressão de vídeo.

Para o setor voltado para a captação de dados dos sensores, decidiu-se que o ideal seria utilizar o Arduino UNO, visto que este possui grande compatibilidade com os shields escolhidos, além de uma quantidade razoável de portas disponíveis.

As especificações dos microcontroladores estão relacionadas na tabela 17:

|                        | Intel Galileo Gen 2  | Raspberry PI 2          | Arduino UNO                     |
|------------------------|--|-------------------------|---------------------------------|
| Microcontrolador       | -  | -                       | ATmega328                       |
| Processador            | SoC Quark X1000 - 32 bits  | Broadcom BCM2836 SoC    | -                               |
| Arquitetura            | x86  | Quad-core ARM Cortex-A7 | -                               |
| Memória                | DDR3 de 256 MB, SRAM embarcada de 512 KB, NOR Flash de 8 MB e EEPROM padrão de 8 KB on-board | 1 GB de RAM             | 32K (0.5 usado pelo bootloader) |
| Clock                  | 400 MHz  | 900 MHz                 | 16MHz                           |
| GPU                    | -  | VídeoCore IV            | -                               |
| Portas analógicas      | 6  | -                       | 6                               |
| Portas digitais        | 14   | 26 (GPIO)               | 14                              |
| Portas PWM             | 6 (12-bit)   | -                       | 6                               |
| Tensão de operação     | 12 V   | 5 V                     | 5 V                             |
| Corrente máxima        | 2 A  | 1 A                     | 40 mA                           |
| Alimentação            | 7 - 15 V   | 5 V                     | 7 -12 Vdc                       |
| Interface Ethernet     | 10/100 Mbps  | 10/100 Mbps             | -                               |
| Saída de vídeo e Áudio | -  | HDMI e Av               | -                               |

Tabela 17: Especificações dos Microcontroladores ([Intel Corporation, 2014](#)), ([ADAFRUIT, 2015](#)), ([ARDUINO, 2013](#))

### 3.4.2 Sensores

Para os sensores utilizados nesse projeto que já possuem internamente um conversor de sinal analógico para digital e também um filtro para reduzir ruídos, o funcionamento é basicamente coletar a informação desejada, fazer a conversão de dados para digital, logo após realiza a filtragem e realizada a filtragem esses dados são passados para uma memória e para um bloco onde vai controlar essas informações no sistema de comunicação I2C.

O sistema de comunicação I2C possibilita utilizar, em um mesmo sistema, componentes de tecnologias construtivas diferentes sem que haja incompatibilidade e nem conflitos na comunicação.

A transmissão da informação entre os dispositivos é feita através de dois fios, serial data DAS e serial clock SCL.

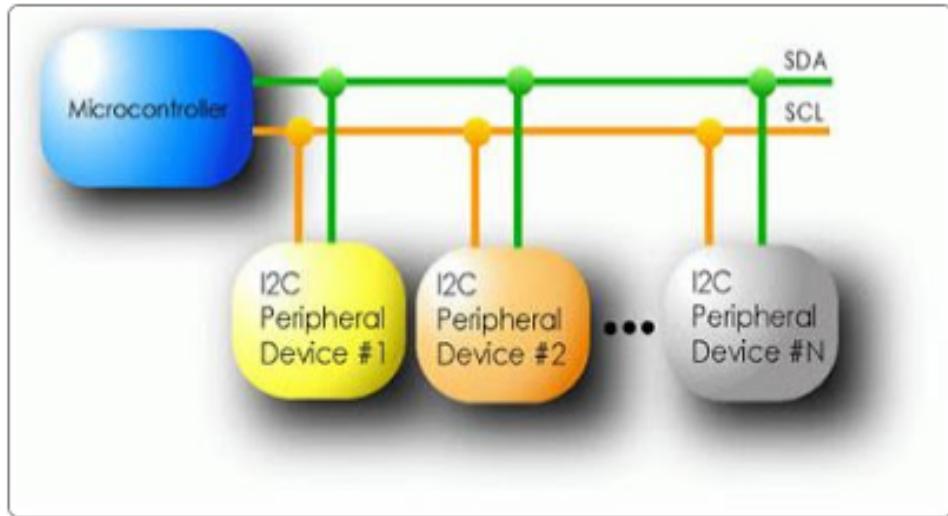


Figura 24: Exemplo de funcionamento da comunicação I2C ([Blog Microcontrolandos, 2013](#))

Os dispositivos ligados em Inter IC possuem um endereço fixo (cada componente recebe um endereço específico), e podemos configurá-los para receber ou transmitir dados; dessa maneira eles podem ser classificados de várias formas, como: mestres (MASTER), escravos (SLAVE), entre outras.

Uma das vantagens do padrão I2C é que ele não fixa a velocidade de transmissão (freqüência), pois ela será determinada pelo circuito MASTER (transmissão do SCL).

O Diagrama de funcionamento dos sensores são demonstrados nas figuras de [25 à 29](#).

- Acelerômetro

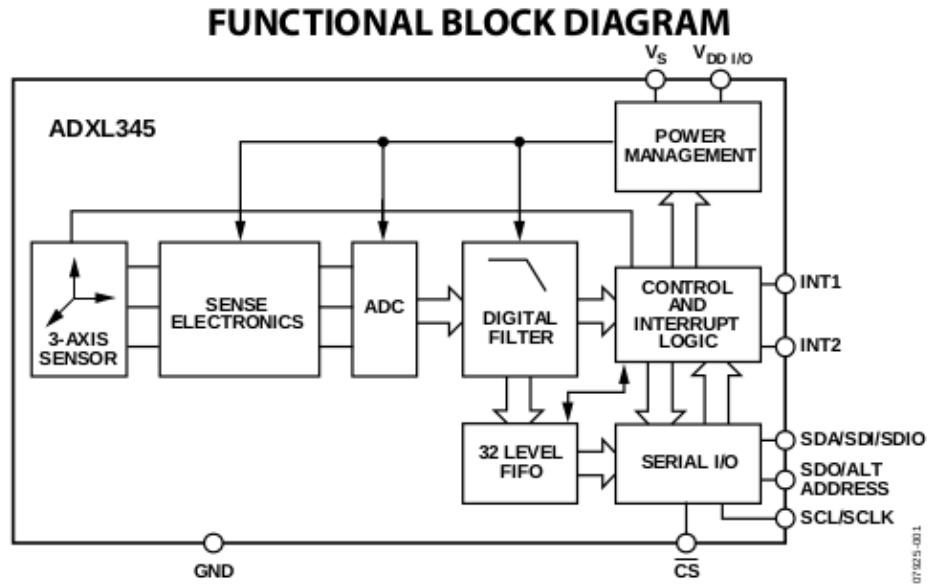


Figura 25: Diagrama funcional acelerômetro ADXL345 ([Analog Devices, 2013](#))

- Barômetro

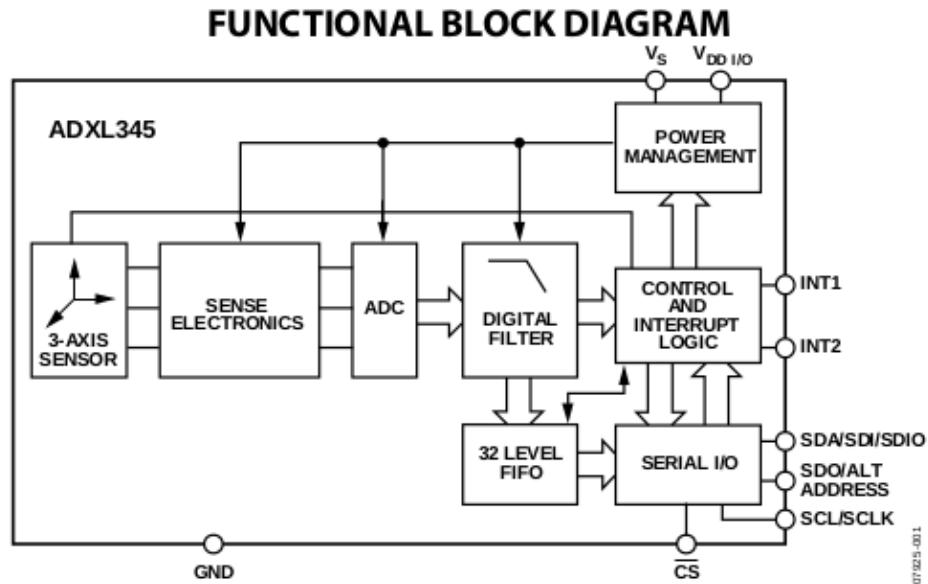


Figura 26: Diagrama funcional Barômetro BMP085 ([Bosch Sensortec, 2013](#))

- Giroscópio

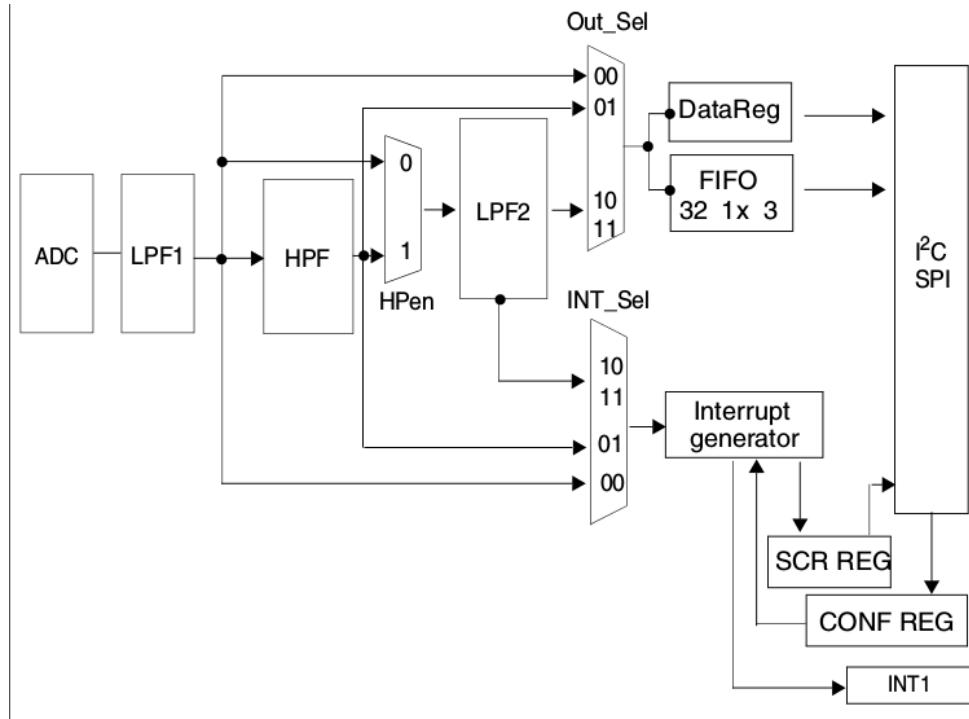


Figura 27: Diagrama Funcional Giroscópio L3G4200D ([STMICROELECTRONICS, 2013](#))

- Magnetômetro

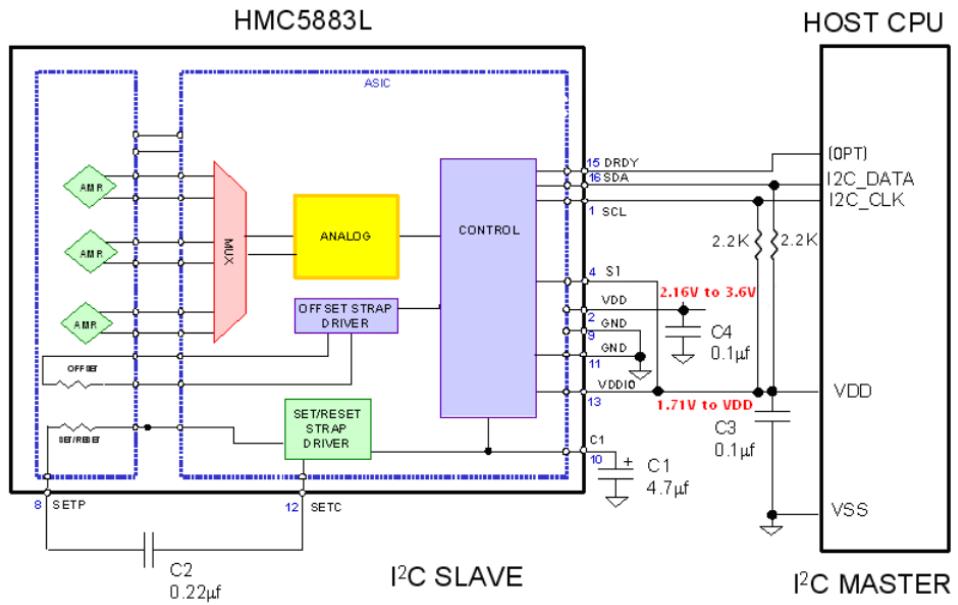


Figura 28: Diagrama funcional magnetômetro HMC5883L ([Honeywell's Magnetic Sensors, 2013](#))

- Sensor de umidade

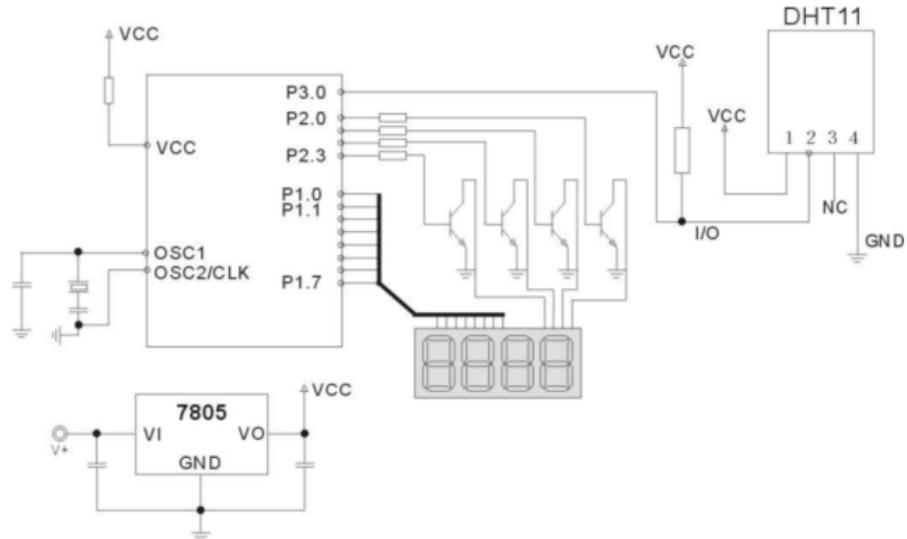


Figura 29: Diagrama funcional sensor de umidade ([AOSONG, 2013](#))

A conversão Analógico/Digital será feita internamente nos sensores, como foi mostrado em seus respectivos diagramas funcionais, o que significa que fornecerão valores digitais em suas saídas, que estarão conectadas a um microcontrolador.

Geralmente, os microcontroladores processam dados obtidos por sensores e na sua saída são encontrados valores analógicos, logo é necessário transformá-los em valores digitais. Então, para executar essa atividade, é preciso do conversor A/D, que interfaceiam os dispositivos de medidas e o microcontrolador.

Nesses conversores, quanto maior o número bits de saída, melhor ele será. Por exemplo, um conversor que tem uma saída de quatro bits possui dezesseis degraus de indicação, ou seja, pode definir uma escala de dezesseis valores diferentes.

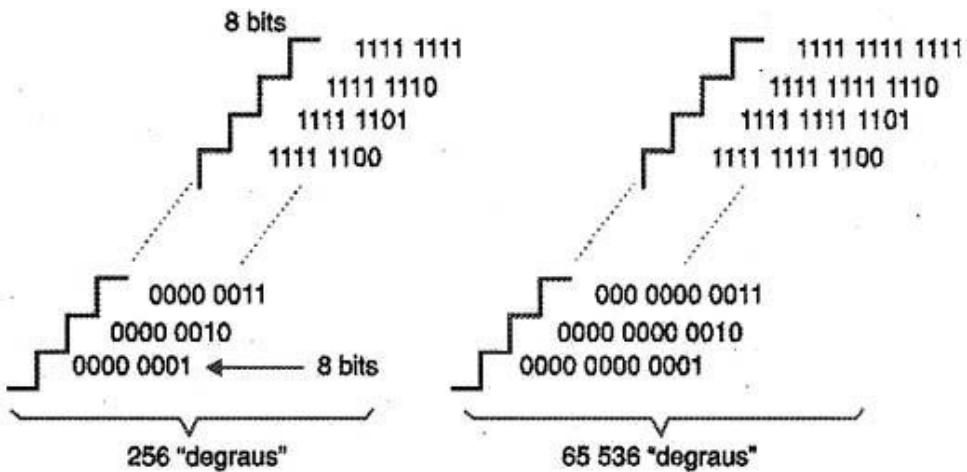


Figura 30: Ilustração da escala de bits ([Instituto Newton C Braga, 2013](#))

Se o circuito converte sinais na faixa de 0V a 1V, é preciso ter cuidado para que os

sensores usados trabalhem nessa faixa. Um amplificador operacional pode ter um ganho programado para evitar esses problemas. Então, as saídas terão um número  $n$  de pinos nas quais as saídas nos níveis lógicos 0 ou 1 são obtidos conforme a tensão de entrada (Instituto Newton C Braga, 2013).

### 3.4.3 Sistemas de câmeras

Cada balão portará 1 câmera direcionada para a região em que se efetuará a monitoração. A câmera escolhida foi a Waveshare OV5647 Night Vision, com as seguintes especificações técnicas:

- 5MP.
- Vídeo: 1080 p.
- Abertura (F): 2.9
- Distância Focal: 3.29 mm.
- Diagonal: 72.4 mm.
- Dimensões: 25 mm x 24 mm x 6 mm.
- Suporta até 2 LEDs infra-vermelhos.
- Massa:  $1.7 \cdot 10^{-2}$  kg.
- Preço: U\$30.99.



Figura 31: Waveshare OV5647 Night Vision em destaque (AMAZON.COM, 2015b)



Figura 32: Painel infra-vermelho ([AMAZON.COM, 2015a](#))

A câmera foi escolhida dada a sua alta resolução, fácil interface com o Raspberry PI, o sensor ser adequado para ser utilizado com o infravermelho para filmagens noturnas. Além disso, possui dimensões pequenas. O fabricante não informa o alcance do infravermelho para filmagens noturnas, dessa forma faz-se necessária a utilização conjunta com câmera de um painel infravermelho externo. O painel escolhido é denominado: Aweek 850 nm, 60 LEDs IR com especificações:

- Comprimento de onda: 850 nm.
- Consumo: 12 W.
- Tensão de operação: 12 VDC.
- Alcance: 60 m.
- Massa: 0.5 kg.
- Preço: U\$27.88.

As câmeras serão fixadas ao balão, e por estarem acondicionadas em seus respectivos invólucros (caixas de proteção) deverão continuar operando perfeitamente sob temperatura ambiente entre 0 e 40°C e umidade relativa do ar de até 90%.

### 3.4.4 Estabilização da carga útil

Embora que a princípio o balão trabalhará com altitude fixa, este tem o grau de liberdade para mudar de orientação em torno dos eixos ZB, YB e XB (considerase o sistema de referência Body Axes), figura 33. O sistema de referência nos eixos do corpo tem origem geralmente no centro de massa, e utilizada para referenciar aeronaves, neste caso será aplicado à payload do balão. Estas mudanças de orientação ocasionarão a rotações involuntárias de câmeras embarcadas no balão, dessa forma faz-se necessária a estabilização do movimento.

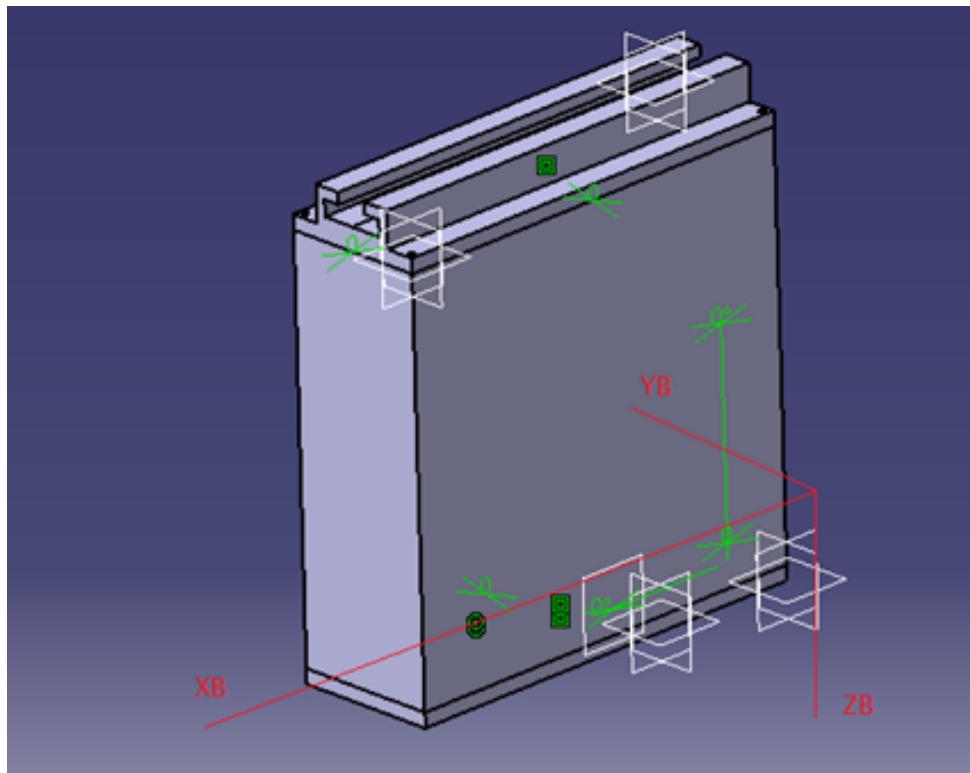


Figura 33: Eixos de referência em destaque.

Tal movimento de rotação pode ser induzido pelas forças aerodinâmicas que agem no balão quando o fluxo de ar faz-se presente. O sistema de controle que seria capaz de estabilizar o sistema frente a uma perturbação seria classificado como de malha fechada, isso significa que um conjunto de sensores inerciais (acelerômetro, giroscópio) deve ser empregado para além de detectar a perturbação, verificar se o sistema de controle está sendo efetivo. Dessa forma o sistema de controle de malha fechada verifica se a saída condiz com as especificações de estabilidade do sistema, para se ter certeza de que a estabilização está

sendo feita. O sistema de controle atuaria de forma intermitente enquanto a estabilização não fosse bem sucedida. Para fins de viabilidade, o sistema de controle empregado deve ser capaz de estabilizar a payload (setor de equipamentos embarcados) rapidamente, para se ter qualidade nas imagens geradas pela câmera.

Um provável atuador para o eixo ZB, ou seja, mecanismo capaz de efetuar a estabilização seria um Reaction Wheel. Um Reaction Wheel é um dispositivo frequentemente utilizado para o controle de atitude de satélites, consiste de um disco massivo acoplado a um eixo giratório. O princípio que o dispositivo usa para efetuar a estabilização é o momento de inércia do disco, dependendo da interpretação do algoritmo de controle das leituras dos sensores, sua rotação é ativada com velocidade e sentido determinados, executando-se a estabilização (anula a rotação da payload do balão no eixo). Tal atuador se encontrará no interior da payload.

Para a estabilização do eixo YB pode ser utilizado um trilho para mover a posição da bexiga, e dessa forma alterar o ângulo de pitch, de forma a nivelar o plano seccional horizontal da payload com o solo. Tal trilho está indicado na estrutura conceitual da payload, figura 34.

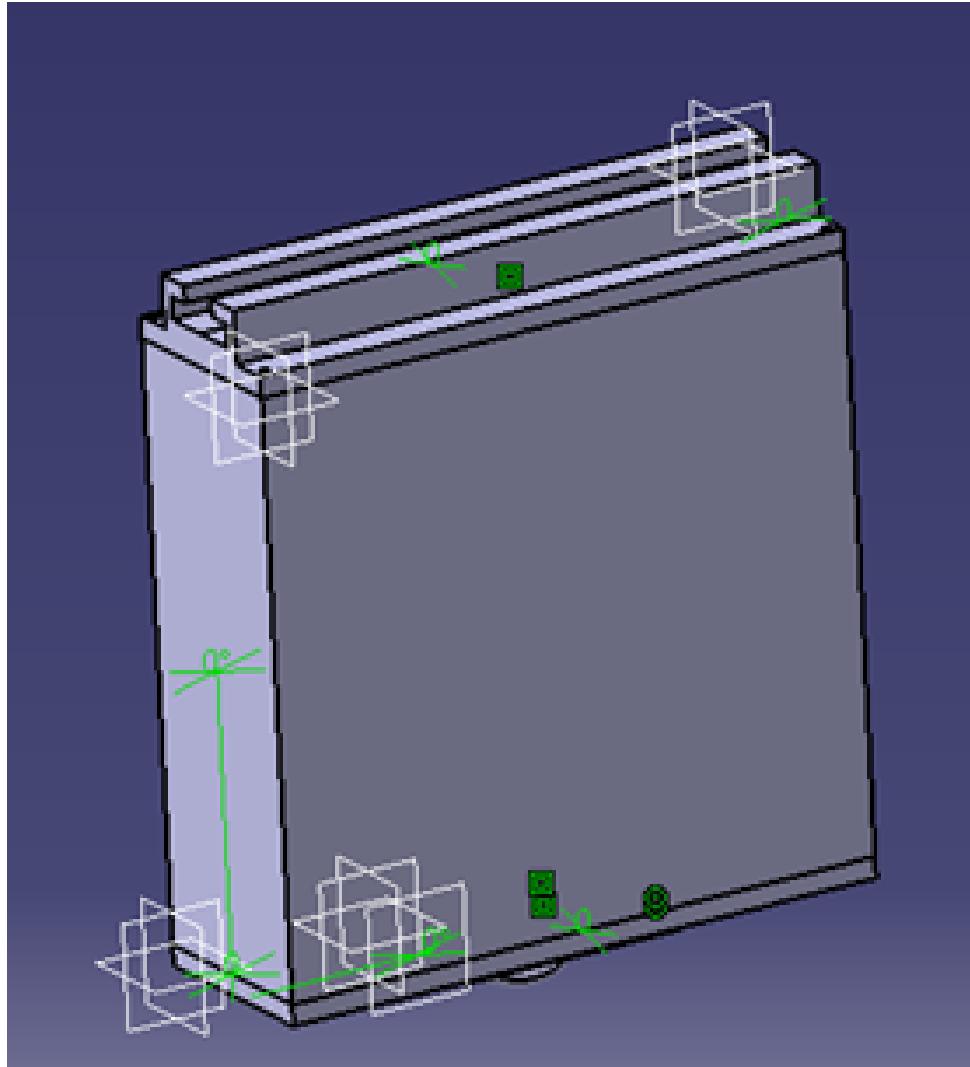


Figura 34: Trilho em destaque na estrutura conceitual da payload.

No caso o eixo XB, a estabilização pode ser feita através da variação da altitude do balão em intervalos de distância pré-definidos. Essa variação da altitude pode ser feita através da retração e liberação do cabo na carretilha em solo. A instabilidade no eixo ZB não afetará significativamente a qualidade da imagem, desde que a estabilização nos outros dois eixos seja efetiva.

Uma provável automação efetuada pelo balão será a avaliação de sua própria segurança. Por meio de sensores de tensão no cabo (dinamômetro) preso na estrutura da figura , se esta aumentar acima de um nível critico, este será automaticamente recolhido por meio do rotor motorizado em solo, e a estação de solo será informada. Assim que o sensor em solo sinalizar normalidade na velocidade do vento este será novamente elevado.

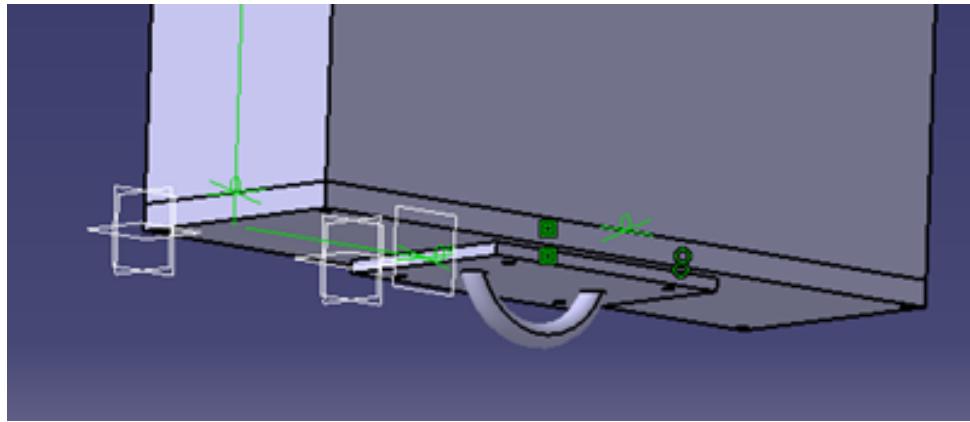


Figura 35: Conexão com cabo de ancoragem em destaque.

Mais uma automação essencial será a sua elevação e retração automática para o período de monitoração determinada.

O funcionamento completo do sistema de estabilização se dará da seguinte forma: quando o sistema aéreo é ativado, ocorrerá a auto-orientação da carga útil (payload). Tal auto-orientação buscará direcionar a câmera para uma dada região pré determinada. Posteriormente, qualquer perturbação que gere alteração da atitude (orientação) da carga útil deverá ser corrigida pelos atuadores, isto é, Reaction Wheel e trilho.

O reaction wheel escolhido é o da companhia Clyde Space possuindo as seguintes especificações técnicas:

| Característica                   | Valor       | Unidades          | Notas |
|----------------------------------|-------------|-------------------|-------|
| Máxima velocidade volante        | 66500       | rpm               | @28 V |
| Torque máximo à 6500 rpm         | 26          | mNm               | @28 V |
| Torque máximo até 2500 rpm       | 40          | mNm               | @28 V |
| Faixa de temperatura em operação | -20 a 50    | °C                | -     |
| Faixa de temperatura em repouso  | -30 a 60    | °C                | -     |
| Consumo quando inativo           | 1.5         | W                 | @28 V |
| Consumo sem carga                | <12         | W                 | @28 V |
| Consumo em torque máximo         | <28         | W                 | @28 V |
| Inércia do disco                 | 0.001766969 | kg*m <sup>2</sup> | -     |
| Massa total do dispositivo       | 1.5         | Kg                | -     |

Tabela 18: Especificação do Reaction Wheel ([SPACE, 2013](#))

Para fazer a bexiga se locomover no trilho, faz-se necessária a utilização de um motor de passo. O motor escolhido foi o de modelo AK23/R100F6FN1.8-G10-LINIX com caixa de redução, devido ao torque, dimensões e consumo.



Figura 36: Motor de Passo AK23/R100F6FN1.8-G10-LINIX ([ROBOCORE, 2015](#))

Dados técnicos do motor:

- Tensão: 2.4 VDC.
- Corrente: 3 A.
- NEMA: 23.
- Folga: a folga do redutor é de 30 arcminutos (0.5 graus).
- Marca: LINIX.
- Preço: R\$359.00.

Para ser controlado, esse motor requer um driver, o modelo escolhido, por se adequar as especificações técnicas do motor foi o SparkFun AutoDriver - Stepper Motor Driver com as seguintes especificações ([POLOLU, 2015](#)):

- Detecção de superaquecimento.
- Deterção de excesso de corrente.
- Controlado por SPI.
- ADC de 5 bits.
- Faixa de tensão: 8 - 45 V.
- Corrente suportada: 3 A.
- Preço: U\$34.95.

### 3.5 Consumo Energético

Inicialmente, foram analisadas as propostas para o fornecimento energético do Sistema Integrado de Monitoramento, foram elas, eólica, solar, e também a possibilidade do sistema ser ligado à rede concessionária, ou seja, um sistema *on grid*.

A tomada de decisão, levou em conta fatores relevantes e que pudessem afetar o bom desempenho do equipamento foram postos em pauta, e devidamente justificados no Ponto de Controle 01 (PC01). Com base nos pontos positivos e negativos analisados de cada proposta, a escolha que apresentou maior viabilidade para agregar ao projeto foi o sistema ligado na rede, assim como a proposta que atende a maioria das casas no Brasil.

O fornecimento energético do SUM, será feito semelhante à uma residência normal, como mostrado no esquemático abaixo.

Como demonstrado, a energia elétrica chegará no QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão), semelhante aos presentes em construções civis, em seguida, serão feitas as devidas distribuições, de acordo com a demanda para as estruturas do SUM.



Figura 37: Diagrama Energético - Balão Cativo.

#### 3.5.1 QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão):

Painéis que acomodam o equipamentos para a proteção, seccionamento e manobra de energia elétrica. Os painéis podem variar de tamanho, desde residenciais até painéis de grandes indústrias, edificações comerciais, hospitais, entre outros. O dimensionamento do QGBT é de grande importância para manter a integridade e a segurança de todo o sistema.

### 3.5.2 Banco de Baterias:

As baterias elétricas têm sido utilizadas principalmente voltada a elementos acumuladores em sistemas de alimentação ininterruptos. O banco de baterias é o conjunto delas ligados em paralelo ou série-paralelo, visando atender à necessidade do sistema em situações emergenciais. O dimensionamento correto do banco de baterias irá garantir a continuidade das operações do sistema por um determinado período de tempo.

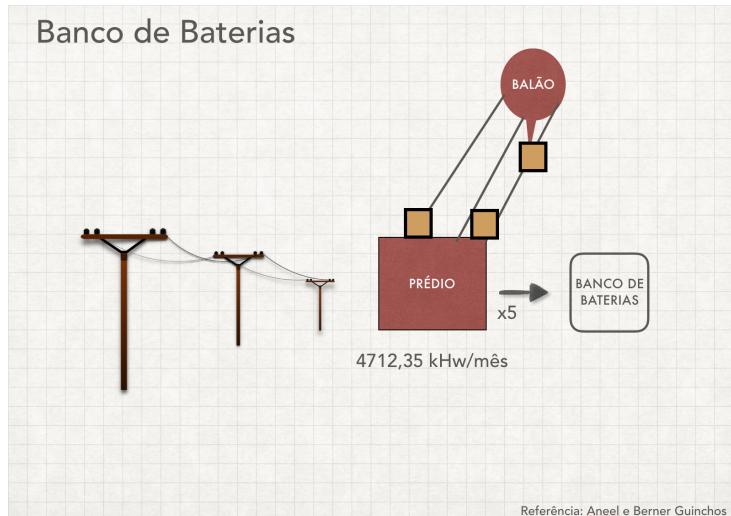


Figura 38: Banco de Baterias.

#### 3.5.2.1 Dimensionamento do Banco de Baterias:

Funciona como um sistema emergencial, quando a energia fornecida pela rede falha, ou não é o suficiente para o bom funcionamento do conjunto. O objetivo é manter funcionando apenas as estruturas vitais, para que a segurança não seja prejudicada. No caso, manteremos apenas os monitores, um computador, e a estrutura do balão, resultando num consumo de 2015,55 kWh, para ser suprido pelas baterias por um período máximo de 6 horas de autonomia.

Com auxílio da calculadora Digitek, baterias semelhante às automotivas, com 12 Volts e 70 ampéres, um inversor com eficiência próxima de 80%, conseguimos a seguinte disposição:

| <b>Cálculo de Autonomia de Banco de Baterias - DIGITEK</b> |             |            |
|--|-------------|------------|
| Indique o número de baterias utilizadas:                   | <b>18</b>   | Unidade(s) |
| Indique a corrente de cada Bateria:                        | <b>70</b>   | AH         |
| Indique a tensão da bateria individualmente                | <b>12</b>   | Volts      |
| Indique a Potência da Carga Consumida :                    | <b>2015</b> | Watts      |
| Rendimento do Inversor do No-Break :                       | <b>80%</b>  | Rendimento |
| <b>Resultado :</b>   | <b>360</b>  | Minutos    |
| <b>Autonomia do conjunto :</b>                             | <b>6:00</b> | Horas      |

Figura 39: Cálculo de autonomia de Banco de baterias ([DIGITEK, 2012](#))

Um banco de 18 unidades de bateria de chumbo (Pb), 12 Volts e 70A, ligadas em paralelo, vão atender à necessidade do sistema por um período de 6 horas.

Em face do exposto, e fazendo uma breve análise do que foi apresentado, temos todas as estruturas que consumirão energia dispostas em forma de esquemáticos indicando seus respectivos consumos, dimensionamento dos fios de acordo com a NBR 5410 da ABNT, dimensionamento do banco de bateria para situações emergenciais e análise do quanto será demandado de energia para o funcionamento completo do SUM.

### 3.5.3 Elementos consumidores do SUM

Abaixo, temos um resumo esquemático simplificado das estruturas que são as potenciais consumidoras do conjunto, sendo assim, utilizadas como base de cálculo para o dimensionamento do banco de baterias, e dos fios de transmissão.

Para isso, separamos em dois blocos independentes, a Sala de Monitoramento (SM) e o Sistema do Balão (SB) para o desenvolvimento dos cálculos, considerando o fornecimento da Companhia Energética de Brasília (CEB), com 220 Volts, 60Hz. (CEB, 2002)

O cálculo do consumo mensal de cada equipamento, tanto da sala de monitoramento quanto do sistema do balão, foi dado pelo produto da potência do equipamento em watt, pela quantidade de horas que ele é utilizado ao dia e o número de dias do mês, isso sendo dividido por 1000. Os equipamentos serão utilizados 24h por dia, e para a realização dos cálculos, o mês foi considerado de 30 dias.

Quando feito o somatório dos valores do consumo mensal de cada equipamento, é obtido o consumo mensal da sala de monitoramento e também o consumo mensal do sistema do balão.

$$Consumo_{total} = \sum \frac{P_w \cdot 24h \cdot 30d}{1000}$$

### 3.5.3.1 Sala de Monitoramento:

A sala de monitoramento, apresenta em seu âmbito os equipamentos de observação e processamento dos dados, como monitores, backup, com funcionamento ininterrupto, já que estamos tratando de um sistema de segurança, operando na vigência 24/7.

Como podemos imaginar, a sala de monitoramento será a maior consumidora de energia do conjunto, por apresentar dispositivos que tornem o ambiente favorável ao trabalho de monitoramento, como: monitores, iluminação, temperatura adequada para operação dos equipamentos, entre outros equipamentos auxiliares. O dimensionamento da sala de deve levar em conta as necessidades mínimas para que em situações emergenciais o sistema continue operando sem prejuízos.

A Sala de Monitoramento, apresenta dois monitores Samsung 42”, dois computadores de alta performance, um aparelho de ar condicionado LG de 12.000 BTUs, e oito luminárias tubulares de LED (*Light Emission Diode*).

Segue abaixo um esquemático com os resultados dos cálculos do consumo energético dos equipamentos, e da sala:

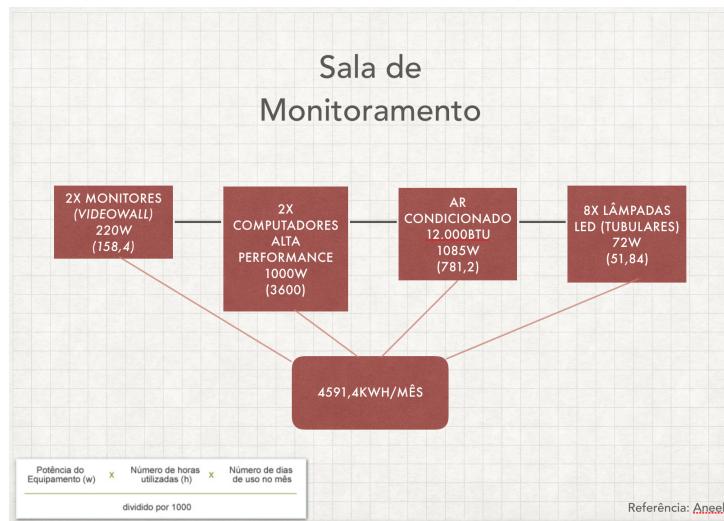


Figura 40: Sala de monitoramento

### 3.5.3.2 Sistema do Balão

O Sistema do Balão, apresenta menor consumo, e também menos itens, temos a payload, composta por sensores, eletrônica e as câmeras, e também o sistema de guinchos,

utilizados no recolhimento do balão. Segue abaixo um esquemático com os resultados dos cálculos do consumo energético dos equipamentos, e do sistema:

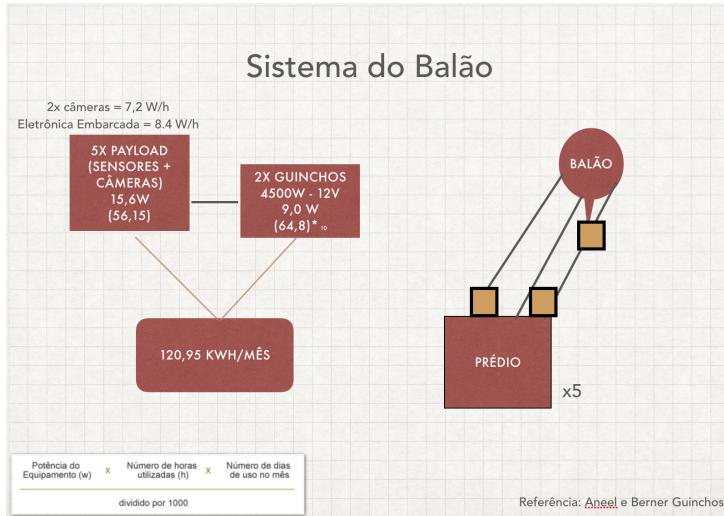


Figura 41: Sistema do balão

Para a determinação da espessura dos fios, utilizamos a Norma Brasileira de Regulamentação 5410/2004, referente a instalações elétricas de baixa tensão. Conforme a tabela abaixo, para as estruturas luminosas, serão utilizados fio de 1.5mm de espessura, para as tomadas de energia e dispositivos para conectar os equipamentos na Sala de Monitoramento, serão utilizados fios de 2.5mm de espessura. Para a alimentação do balão, por ser uma estrutura de baixa demanda energética, será utilizado um fio de 0.5mm de espessura, conforme determina a NBR.

| SEÇÃO MÍNIMA DOS CONDUTORES                  |  |   |
|--|--|---|
| Informações extraídas da norma NBR 5410      |  |   |
| Tipo de instalação                           | Utilização do circuito                                   | Seção mínima do condutor isolado (mm <sup>2</sup> ) |
| Instalações fixas em geral                   | Circuitos de iluminação                                  | 1,5   |
|  | Circuitos de força (tomadas)                             | 2,5   |
|  | Circuitos de sinalização e circuitos de controle         | 0,5   |
| Ligações flexíveis feitas com cabos isolados | Para um equipamento específico                           | Como especificado na norma do equipamento           |
|  | Para qualquer outra aplicação                            | 0,75  |
|  | Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais | 0,75  |

Figura 42: Bitola do Fio

### 3.6 Integração da Solução

O SUM, para atender as necessidades do projeto, estará localizado nos terraços dos três prédios do campus, assim poderá abranger uma maior área de vigilância do

estacionamento da FGA trazendo assim uma maior segurança e comodidade aos alunos e professores.

O balão cativo ZP (Zero Pressão) necessitará de três pontos de fixação. Destes três, dois pontos estarão fixos no topo do respectivos prédios e o terceiro ponto será fixado em um poste de sustentação que terá a altura do prédio cerca de 10 metros de altura e estará distante 5 metros perpendicularmente ao mesmo.

O gás do balão sairá do envelope, na pior das possibilidades, a uma taxa de 7.9% por dia, desta forma deve-se reabastecer o balão com hélio semanalmente. Os cálculos indicam que ao final de sete dias ainda restará  $63.5\ m^3$ . Para a reposição do gás, a manutenção terá de ser feita semanalmente em solo. Considerando que estas serão realizadas nos terraços dos prédios (UED, UAC e RU), haverá a necessidade de descer o balão. Para isso, serão instalados em dois pontos fixos dos prédios motores elétricos com capacidade de carga de 3863Kg e potência de 3800W capazes de puxar o balão e manter a altitude fixa. Nos motores, assim como no ponto de fixação fora do prédio, será utilizado o cabo de aço Alma de Fibra, que foi escolhido por ser mais leve que os cabos de aço comuns e possuir boa propriedades mecânicas.

Na figura 43 está o protótipo do SUM. Nota-se que há uma fita de carga que passa no equador do envelope que segura a payload. A figura 44 (a) mostra como a payload deve ser amarrada ao balão. A figura 45 (b) mostra o detalhe do trilho na parte superior da payload, com esse trilho a payload pode se mover sem que haja perda no foco da imagem.

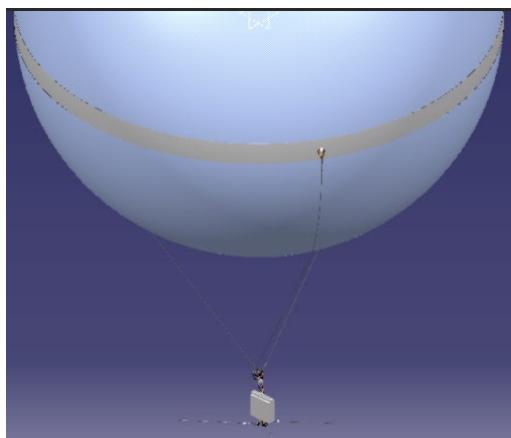


Figura 43: Protótipo do Sum no Catia

A inclusão dos trilhos e do sistema de estabilização fez-se necessário para manter a estabilidade da câmera, visando a qualidade na obtenção das imagens e tornando o sistema capaz de observar o estacionamento.

Para a melhor visualização do funcionamento integrado do SUM, apresenta-se uma situação hipotética de atividade suspeita.

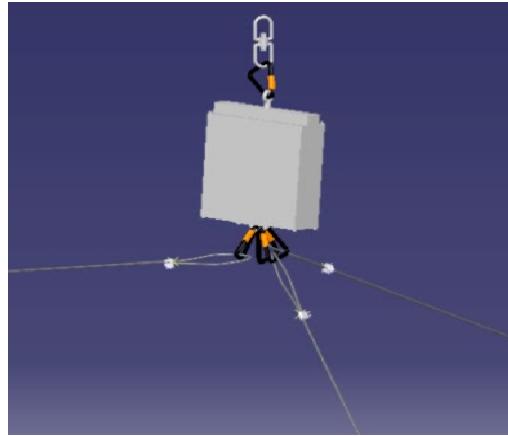


Figura 44: Protótipo da payload do Sum no Catia

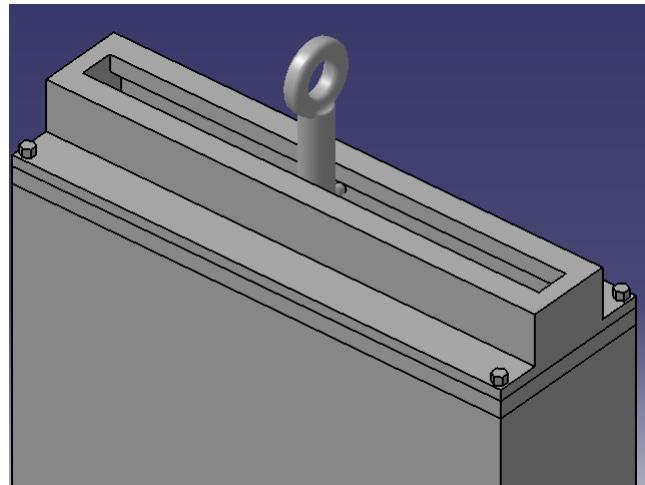


Figura 45: Detalhe do trilho da payload

Supondo que em uma das áreas de monitoramento definidas pela figura 46, um indivíduo, numa distância horizontal de, aproximadamente, 5 metros do balão, encoste no veículo e não saia no mesmo durante 5 minutos, ou fique parado perto do carro a uma distância de 2 metros sem sair no veículo, será emitido um pequeno sinal de alerta na estação de solo e caso permaneça na mesma altitude por mais um minuto será emitido um sinal no monitor central da estação onde o operador irá averiguar a situação, e as câmeras passarão a filmar em vez de só transmitir.

O operador, que ficará na estação de solo, já tendo recebido o treinamento necessário para identificação das situações padrões de furto, (poderá aproximar a imagem, pois as câmeras Waveshare OV5647 Night Vision, definidas para serem acopladas à payload, possuem distância focal de 3.29 mm, com resolução de 5 Mega Pixels/ 1080p. O operador irá ver se a situação é realmente perigosa e caso seja necessário irá acionar via rádio a segurança do campus para que algum outro segurança possa fazer a vistoria do local e caso seja necessário informar a polícia.



Figura 46: Mapa do Campus com as posições dos balões

A eletrônica embarcada, no processamento de imagens e transmissão de dados, realizará os seguintes processos: as imagens captadas pela câmera serão direcionadas para o Raspberry PI, através do seu conector específico para câmera. Este conterá um algoritmo que realizará a compressão dos vídeos enviados, no padrão H264, um padrão de codificação de vídeo que utiliza um quadro de referência para comparação e codifica apenas os pixels que foram modificados. Após realizar esse processo de compressão, o Raspberry que estará conectado ao Arduino, receberá os dados dos sensores e a interpretação feita pelo algoritmo implementado no microcontrolador. Caso a interpretação do algoritmo informe determinada anomalia no sistema e exija que esse seja estabilizado, o Raspberry comunicará ao Galileo, via comunicação serial, que realize a estabilização do sistema. Com as imagens e os dados dos sensores obtidos, o Raspberry transmitirá essa informações em tempo real para o balão mais próximo da central, a comunicação entre eles será sem fio, montando uma rede intranet. O balão, que estará recebendo essas informações, transmitirá para a central através de um cabo de ethernet e o computador que recebe realizará todo o procedimento desejado com as imagens.

Com estas imagens e os dados dos sensores transmitidos, será realizado o reconhecimento da situação em questão e será verificado o funcionamento do sistema. A estação de solo possuirá um conjunto de monitores e um monitor central. Após a transmissão das informações, serão emitidos alertas no monitor central, onde o operador irá averiguar a situação e, caso seja necessário, informar a segurança do campus. A segurança do campus irá até o local e verificará a situação, tendo como responsabilidade informar a polícia, de acordo com o ocorrido.

## 4 Conclusões

Até o presente momento foram concluídas as atividades propostas para apresentação nos pontos de controle 1 e 2 da disciplina de Projeto Integrador 1. Dentre as principais atividades desenvolvidas, a definição do escopo, metodologia a ser utilizada, estabelecimento de cronograma, utilização de modelos esquemáticos e integração das soluções das grandes áreas de pesquisas, com utilização de cálculos, foram concluídas. Contudo, se necessário, durante o período de pesquisas do Ponto de Controle 2 para o Ponto de Controle 3, mudanças para o melhoramento do projeto poderão ser feitas.

Os modelos esquemáticos no relatório do PC2 foram desenvolvidos para a melhor visualização da solução elaborada pelos grupos de pesquisa. Por exemplo, o processo de visão geral do produto, o funcionamento da eletrônica embarcada no SUM, operação da estação de solo. A elaboração de modelos feitos no software CATIA também permitem o leitor identificar os componentes de ancoragem, sustentação e bexiga do balão cativo com melhor detalhamento. Foram feitos também os cálculos de empuxo líquido, forças atuantes no balão, volume, consumo energético.

Dessa forma, com todos os materiais definidos, espera-se para o Ponto de Controle 3 que sejam apresentados os cálculos de viabilidade econômica do projeto, e que as pesquisas sigam o cronograma elaborado, disponível no subtópico 1.5.

# Referências

Acro Cabos de Aço. *Acro cabos de aço*. 2015. Disponível em: <<http://www.acrocabo.com.br/>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 42.

ADAFRUIT. *Raspberry Pi 2, Model B*. 2015. Disponível em: <<http://www.adafruit.com/pdfs/raspberrypi2modelb.pdf>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 53.

AMAZON.COM. *Aweek 850nm 60 Leds IR Illuminators CCTV Lighting IR Infrared Illuminator Light LED infrared light CCTV Camera Night-vision Fill Light Array Led IR Light for CCTV Security Camera Night Vision Outdoor*. 2015. Disponível em: <[http://www.amazon.com/dp/B00QM3KI7E/ref=asc\\_df\\_B00QM3KI7E3962823?smid=A24LKFTZPWV7T8&tag=shopz0d-20&ascsesubtag=shopzilla\\_mp\\_1151-20;14459953014321381952310040301008005&linkCode=df0&creative=395129&creativeASIN=B00QM3KI7E](http://www.amazon.com/dp/B00QM3KI7E/ref=asc_df_B00QM3KI7E3962823?smid=A24LKFTZPWV7T8&tag=shopz0d-20&ascsesubtag=shopzilla_mp_1151-20;14459953014321381952310040301008005&linkCode=df0&creative=395129&creativeASIN=B00QM3KI7E)>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 59.

AMAZON.COM. *Camera Waveshare*. 2015. Disponível em: <<http://www.amazon.com/Waveshare-Raspberry-Camera-Version-Raspberry-pi/dp/B00N9YWI1I>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 58.

Analog Devices. *ADXL345*. 2013. Disponível em: <<http://www.analog.com/en/products/mems/mems-accelerometers/adxl345.html>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 55.

AOSONG. *Temperature and humidity module*. 2013. Disponível em: <[http://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_DHT11.pdf](http://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT11.pdf)>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 57.

ARDUINDO. *Arduino UNO*. 2013. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 53.

BEER, F. P. et al. *Vector mechanics for engineers*. [S.l.]: Tata McGraw-Hill Education, 1962. v. 1. Citado na página 38.

BIRD EDWIN N. LIGHTFOOT, W. E. S. R. B. *Fenômenos de transporte*. [S.l.]: LTC, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

Blog Microcontrolandos. *Comunicação I2C*. 2013. Disponível em: <<http://microcontrolandos.blogspot.com.br/2012/12/comunicacao-i2c.html>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 54.

Bosch Sensor tec. *BMP085 Digital pressure sensor - Data sheet*. 2013. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/General/BST-BMP085-DS000-05.pdf>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 55.

Bremem Importados. *Bremem*. 2015. Disponível em: <<http://www.bremenimportadora.com.br/>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 41.

COUTINHO, F. M.; MELLO, I. L.; MARIA, L. D. S. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, SciELO Brasil, v. 13, n. 1, p. 1–13, 2003. Citado na página 23.

Digital Globe. *Google Maps: UnB Gama*. Google Maps, 2015. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-15.9895168,-48.0450364,1191a,20y,137.04h/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 26.09.2015. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 13.

DIGITEK. *Cálculo de Autonomia de Banco de Baterias*. 2012. Disponível em: <<http://digitek.com.br/calcular/autonomia/CalcAutDigitekBH.htm>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 67.

Edge of Space Sciences. *Zero Pressure Balloons*. 2003. Disponível em: <[http://www.eoss.org/faq/zero\\_pressure](http://www.eoss.org/faq/zero_pressure)>. Acesso em: 20.10.2015. Citado na página 25.

FERGUSON, F. *Aircraft having buoyancy gas balloon*. Google Patents, 1989. EP Patent 0,078,713. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/EP0078713B1?cl=en>>. Acesso em: 27.10.2015. Citado na página 37.

Gama Gases. *Propriedade dos Gases - Hidrogênio*. 2007. Disponível em: <[http://www.gamagases.com.br/propriedades\\_hidrogenio.htm](http://www.gamagases.com.br/propriedades_hidrogenio.htm)>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 23.

Gama Gases. *Propriedade dos Gases - Hélio*. 2007. Disponível em: <[http://www.gamagases.com.br/propriedades\\_helio.htm](http://www.gamagases.com.br/propriedades_helio.htm)>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 22.

GREAVES, D. *Linux Raid*. 2015. Disponível em: <[https://raid.wiki.kernel.org/index.php/Linux\\_Raid](https://raid.wiki.kernel.org/index.php/Linux_Raid)>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 44.

HOFFMAN, J. D.; FRANKEL, S. *Numerical methods for engineers and scientists*. [S.l.]: CRC press, 2001. Citado na página 29.

Honeywell's Magnetic Sensors. *3-Axis Digital Compass IC HMC5883L*. 2013. Disponível em: <[http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Defense\\_Brochures-documents/HMC5883L\\_3-Axis\\_Digital\\_Compass\\_IC.pdf](http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Defense_Brochures-documents/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf)>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 56.

Instituto Nacional de Meteorologia. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmepe>>. Acesso em: 18.10.2015. Citado na página 35.

Instituto Newton C Braga. *Como funcionam os Conversores A/D - parte 1 (ART224)*. 2013. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/1508-conversores-ad>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado 2 vezes nas páginas 57 e 58.

Intel Corporation. *Intel Galileo Gen 2 Development Board: Datasheet*. 2014. Disponível em: <<http://www.intel.com/content/www/us/en/embedded/products/galileo/galileo-g2-datasheet.html>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 53.

JUSTINO, C. *Aeronaves*. 2014. Disponível em: <<http://www.cienciaegames.com.br/artigos/aeronaves>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 28.

- LOVICON. *Rádio Comunicador Walk Talk Cobra Cxr925 56 Km.* [S.l.]: Mercado Livre, 2015. <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-704264416-radio-comunicador-walk-talk-cobra-cxr925-56-km-\\_JM](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-704264416-radio-comunicador-walk-talk-cobra-cxr925-56-km-_JM)>. Citado na página 44.
- MYERS, P. F. *Tethered Balloon Handbook*. [S.l.], 1968. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/685183.pdf>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 36.
- National Aeronautics and Space Administration. *Scientific Balloons: Construction, Modeling, and Analysis*. 2008. Disponível em: <[http://sites.wff.nasa.gov/code820/spb\\_construction\\_modeling\\_analysis.html](http://sites.wff.nasa.gov/code820/spb_construction_modeling_analysis.html)>. Acesso em: 20.10.2015. Citado na página 26.
- National Aeronautics and Space Administration. *Scientific Balloons: How Big is Big?* 2008. Disponível em: <[http://sites.wff.nasa.gov/code820/outreach\\_big.html](http://sites.wff.nasa.gov/code820/outreach_big.html)>. Acesso em: 20.10.2015. Citado na página 25.
- National Aeronautics and Space Administration. *Scientific Balloons: The Differences Between a Zero Pressure Balloon and a Super Pressure Balloon*. 2008. Disponível em: <[http://sites.wff.nasa.gov/code820/spb\\_differences\\_between\\_zpandspb.html](http://sites.wff.nasa.gov/code820/spb_differences_between_zpandspb.html)>. Acesso em: 20.10.2015. Citado na página 25.
- POLOLU. *Driver Stepper Motor*. 2015. Disponível em: <<https://www.pololu.com/product/392>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 64.
- PRADO, T. A. Implementação de um controlador pid embarcado para o controle em malha fechada de um estimulador neuromuscular funcional. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2009. Citado na página 52.
- ROBOCORE. *Motor de passo*. 2015. Disponível em: <[https://www.robocore.net/modules.php?name=GR\\_LojaVirtual&prod=632&gclid=COjrv9Tg5sgCFYeBkQodTVwApQ](https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_LojaVirtual&prod=632&gclid=COjrv9Tg5sgCFYeBkQodTVwApQ)>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 64.
- RUCINSKI, R. N. Computação configurável utilizando processamento paralelo. *Electronic Publication*, 2004. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>. Citado na página 52.
- SEAGATE. *HD Interno Seagate Archive 8TB (SATA III, 24x7, Buffer 128MB, 5900 RPM, 03 Anos de Garantia- MPN: ST8000AS0002)*. [S.l.]: Four serv, 2015. <<http://www.fourserv.com.br/hd-interno-seagate-archive-8tb-sata-iii-24x7-buffer-128mb-5900-rpm-mpn-st8000as0002>>. Citado na página 42.
- SPACE, C. *Small Satellite Reaction Wheels*. 2013. Disponível em: <[http://www.clyde-space.com/products/reaction\\_wheels](http://www.clyde-space.com/products/reaction_wheels)>. Acesso em: 23.09.2015. Citado na página 63.
- STMICROELECTRONICS. *L3G4200D - MEMS motion sensor: ultra-stable three-axis digital output gyroscope*. 2013. Disponível em: <<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00265057.pdf>>. Acesso em: 28.10.2015. Citado na página 56.

Viver com segurança. *No-Break Organizador e Fonte para 16 câmeras ONAT*. [S.l.]: Viver com segurança, 2015. <<http://www.vivercomseguranca.com.br/sistema-de-camera/no-break-para-sistema-de-cameras/no-break-organizador-e-fonte--para-16-cameras-onat>>. Citado na página 43.

WEBER, T. S. Tolerância a falhas-conceitos e exemplos. p. 26, 2003. Citado na página 44.

YAJIMA, N. et al. *Scientific Ballooning: Technology and Applications of Exploration Balloons Floating in the Stratosphere and the Atmospheres of Other Planets*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2009. v. 112. Citado 5 vezes nas páginas 23, 24, 26, 34 e 35.

YOUNG, D. F.; MUNSON, B. R. O. Fundamentos da mecânica dos fluidos. *Tradução da 4<sup>a</sup> edição norte-americana. Edgard Blucher*, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 32.