



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



DETECÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS A BORDO DE UM NANOSSATÉLITE (CUBESAT) – PROJETO RAIOSAT

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Dimitri Assumpção Scripnic (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: dscripnic@gmail.com

Kleber Pinheiro Naccarato (CCST/INPE, Orientador)

E-mail: kleber.naccarato@inpe.br

Junho de 2016

DETECÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS A BORDO DE UM NANOSSATÉLITE (CUBESAT) – PROJETO RAIOSAT

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Dimitri Assumpção Scripnic (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: dscripnic@gmail.com

Kleber Pinheiro Naccarato (CCST/INPE, Orientador)

E-mail: kleber.naccarato@inpe.br

Junho de 2016

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro Miguel Carretero (DSS/ETE) e a toda a equipe do projeto RaioSAT, pelos ensinamentos e sugestões no projeto.

RESUMO

O projeto consiste no desenvolvimento do RaioSAT, um sistema de detecção de raios total por meio de sinais eletromagnéticos tanto no espectro VHF quanto no espectro da luz visível. Baseia-se na plataforma consagrada de satélite CubeSAT, utilizando uma de tamanho 3-U. Com o desenvolvimento do projeto, envolveu-se engenharia de sistemas e diversas reuniões para definir suas especificações. O papel da iniciação no projeto foi de desenvolvimento dos sistemas da carga útil do CubeSAT para cumprir a missão proposta, explorando conceitos de eletrônica e computação. Outro aspecto da iniciação foi a análise da viabilidade de execução do projeto. O controle do satélite e recepção dos dados gerados pela carga útil de detecção de descargas é feito por um sistema em solo. Os dados de descargas adquiridos têm como finalidade serem armazenados em um banco de dados e distribuídos para usuários por um sistema em web.

Palavras-chave: CubeSAT. Carga útil. Eletrônica. Detecção de raios. Aquisição de dados.

DETECTION OF ATMOSPHERIC DISCHARGES ABOARD A NANOSATELITE (CUBESAT) – RAIOSAT PROJECT

ABSTRACT

The project consists in developing the RaioSAT, a system of total lightning detection through electromagnetic signals in the VHF (Very High Frequency) and in the visible spectrums. It is based on the CubeSAT platform, utilizing one of size 3-U. With development of the project, systems engineering was involved, along with many meetings to define the specifications. The role of the scientific initiation in the project was to develop the payload systems of the CubeSAT in order to accomplish the proposed mission, exploring concepts of electronics and computer sciences. Another aspect of the initiation was the analysis of the project's execution viability. The satellite's control and the reception of the data generated by the payload is done by a system on the ground. The discharge data acquired has the purpose is being kept in a data bank and distributed to users through a web system.

Keywords: CubeSAT. Payload. Electronics. Lightning detection. Data acquisition.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALEXIS	Array of Low Energy X-ray Imaging Sensors
CCD	Charge Coupled Device
FORTE	Fast On-orbit Rapid Recording of Transient Events
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIS	Lightning Imaging Sensor
OTD	Optical Transient Detector
VHF	Very High Frequency (Frequência muito alta)

Sumário

1	Introdução.....	1
2	Desenvolvimento.....	5
2.1	Revisão de Leitura.....	5
2.1.1	Detecção de raios por meio de ondas eletromagnéticas no espectro RF....	5
2.1.2	Detecção de raios a partir de ondas eletromagnéticas no espectro visível .	7
2.2	Materiais e métodos.....	9
2.2.1	Projeto geral.....	9
2.2.2	Projeto da Iniciação Científica.....	12
2.3	Resultados.....	17
3	Conclusão.....	19
4	Referências bibliográficas.....	21

1 Introdução

Nos estudos das mudanças climáticas são usados sensores para a detecção de fenômenos meteorológicos. Os dados obtidos são então aplicados em análises históricas (estudos climatológicos) e/ou em modelos numéricos de previsão (estudos futuros). Um dos fenômenos meteorológicos de grande impacto na sociedade são as descargas atmosféricas.

Atualmente, o Brasil possui uma rede de sensores de superfície (denominada BrasilDAT), a qual detecta as descargas atmosféricas que ocorrem no céu (chamadas de intra-nuvem) e que atingem a superfície (chamadas de nuvem-solo). Este sistema possui a limitação de realizar a detecção somente por meios em solo, o que limita bastante a qualidade da informação sobre o fenômeno.

O RaioSAT representa uma inovação na técnica de detecção de raios. São objetivos do projeto RaioSAT:

- a) Desenvolver tecnologia nacional de sensoriamento de descargas atmosféricas;
- b) Desenvolver um satélite de pequeno porte para detecção de descargas atmosféricas juntamente com seus respectivos sistemas de apoio;
- c) Utilizar os dados da missão para comparação com os dados de outras técnicas observacionais, i.e. redes de detecção de solo, câmeras de alta velocidade, antenas de campos elétricos de alta resolução temporal;
- d) Aprimorar o processo de desenvolvimento de sistemas espaciais do INPE

O sistema RaioSAT deverá obter informações sobre as descargas atmosféricas totais (intra-nuvem e nuvem-solo) a partir do uso sensores espaciais e transmiti-las para sistemas de solo onde serão aplicadas na identificação e estudo das descargas atmosféricas e para comparação com os dados de outras técnicas observacionais.

O sistema de solo fará controle do satélite e receberá os dados gerados pela carga útil de detecção de descargas. Os dados de descargas serão armazenados em um banco de dados de distribuídos para usuários por um sistema em web.

O satélite RaioSAT deve ter a capacidade de detectar raios intra-nuvens e raios nuvem-solo.

O satélite RaioSAT deve ter a capacidade de diferenciar raios intra-nuvens e raios nuvem-solo.

O satélite RaioSAT deverá informar a sua localização no momento da detecção dos raios.

A duração da missão RaioSAT deve ser de no mínimo 6 meses, entre os meses de outubro e março.

O satélite RaioSAT deverá cobrir a totalidade da América do Sul, com interesse particular na Panamazônia e na região compreendida entre o norte da Argentina e centro-sul do Brasil;

A órbita do satélite RaioSAT deverá ser definida de forma a maximizar a quantidade de passagens e o tempo de cobertura na área de interesse.

Da câmera espectral:

- a) Número de pixels;
- b) Pixels iluminados;
- c) Intensidade luminosa dos pixels iluminados;
- d) Coordenadas geográficas da projeção no solo;
- e) Horário de ocorrência do evento (Time stamp).

Do sensor de RF:

- a) Forma de onda amostrada numa taxa mínima a ser definida que seja possível de representar pulso de radiação de uma descarga atmosférica na faixa de VHF (aprox. entre 50-200 MHz) com duração de até 1ms;
- b) Posição do satélite no momento da detecção;
- c) Horário de ocorrência do evento (Time stamp).

O satélite RaioSAT deverá ser lançado preferencialmente em 2018.

A missão da Iniciação Científica, dentro do projeto relatado, foi de determinar métodos e ferramentas para cumprir a missão proposta de detecção de descargas atmosféricas, bem como auxiliar no desenvolvimento desses sistemas. Durante o

processo, também foram passados muitos conhecimentos relevantes à área pelo orientador e outros associados ao projeto.

2 Desenvolvimento

2.1 Revisão de Leitura

Como leitura básica do projeto, adotaram-se pesquisas feitas anteriormente de mesma proposta ou proposta similar à do RaioSAT. A leitura pesquisada está dividida em dois blocos: experimentos de detecção de raios por meio de ondas eletromagnéticas de rádio frequência e por meio de ondas eletromagnéticas no espectro visível. A principal referência para o atual projeto é o satélite FORTE, que foi o primeiro e único precedente do RaioSAT até os dias atuais.

2.1.1 Detecção de raios por meio de ondas eletromagnéticas no espectro RF

A detecção de sinais no espectro “Very High Frequency” (VHF) foi feita inicialmente por dois satélites: o Blackbeard e o ALEXIS. O receptor Blackbeard era banda-larga (*bandwidth* Nyquist de 75 MHz; *bandwidth* analógico mais estreito) e utilizava um gatilho baseado em alimentação de sinal instantânea proveniente de toda a *bandwidth* analógica. Como resultado, o Blackbeard era razoavelmente suscetível a interferências de sinais de TV e FM, e tinha dificuldade em acionar com confiabilidade para quaisquer sinais de raios, com exceção das mais intensas, sobre áreas habitadas (ou seja, com muito ruído de rádio) da Terra, devido a competição com ruído de fundo produzido pelo Homem. As cargas úteis desenvolvidas para o Blackbeard e para o ALEXIS foram melhoradas quando implementadas no satélite FORTE.

O satélite FORTE, lançado no dia 29 de agosto de 1997, carregava dois receptores de rádio frequência ajustáveis como carga útil para o estudo de raios. O sistema de banda mais estreita carregada pelo FORTE contém duas faixas de passagem independentemente ajustáveis, podendo ser ajustadas para qualquer ponto na faixa entre 20 e 300 MHz. O sinal de cada faixa de passagem é filtrada analogicamente para uma banda efetiva de 22 MHz e então é digitalizada a 50 megaamostras/s. A faixa de passagem de cada receptor possui incorporado em si oito sub-bandas acionadas

independentemente, espaçadas 2.5 MHz entre si, com cada sub-banda possuindo largura de um MHz. Os dois receptores de 22 MHz são acionados juntos, de modo que ambos são digitalizados sincronicamente. O gatilho comum para os dois canais de 22 MHz de largura podem ser tanto (1) do *timer* interno quanto (2) de um número lógico OU requerido de canais de acionamento das sub-bandas. Tal sistema permitiu menos interferência a partir de ruído produzido pelo Homem nas medidas do satélite, e portanto FORTE foi mais efetivo na detecção de raios do que o ALEXIS ou o Blackbeard. Cada sub-banda de acionamento de um MHz (oito em cada canal de 22 MHz; 16 no total) possui uma opção de compensação de ruído, para que o limite de acionamento seja definido ou em nível absoluto ou em decibéis acima de um nível de ruído filtrado por passa-baixa naquela sub-banda de um MHz, ou seja, é um limite que se baseia no ruído. Dessa maneira, o sistema de acionamento pode, na prática, acionar para sinais de raios que anteriormente (no Blackbeard) teriam sido dominados por sinais produzidos pelo Homem que apareciam na faixa de passagem analógica geral. Para fazer isso, as sub-bandas de acionamento de um MHz longe de fontes de emissão de ruído comum são localizadas. O limite de acionamento baseado em nível de ruído foi utilizado e o acionamento simultâneo de cinco (de oito) sub-bandas de um MHz (com uma janela de coincidência adequada para compensar a dispersão ionosférica) foi requerido. Se uma sub-banda de acionamento qualquer ainda estivesse ruidosa devido a alguma fonte de ruído, ela poderia ser desligada. O sinal era tipicamente requerido a subir entre 14 e 20 dB (dependendo do programa e da classe de sinais de raios almejada) acima do ruído de fundo em cada sub-banda de um MHz dos cinco de oito. Apesar de ter havido a possibilidade de requerimento de coincidência de um número de acionadores provenientes de todas as dezesseis sub-bandas de um MHz (oito em cada canal de 22 MHz), não foi uma opção comumente utilizada, e no lugar disso foi utilizado o método de obtenção requerindo o acionamento simultâneo de cinco sub-bandas dentre oito como descrito anteriormente (JACOBSON, 2001).

2.1.2 Detecção de raios a partir de ondas eletromagnéticas no espectro visível

Alguns satélites contiveram sensores ópticos capazes de detectar atividade de raios. Dados publicados antes dos de 1990 envolviam raios que ocorriam apenas no pôr do Sol, no amanhecer e meia-noite, e os limites de acionamento eram tais que causavam eventos menores a serem perdidos. Com essa tecnologia, não era possível distinguir entre sinais ópticos de raios intra-nuvem e raios nuvem-solo. Orville e Spencer (1979) e Orville (1981) usaram dados fotográficos de dois satélites no Programa de Defesa Meteorológica por Satélites (DMSP) para estudar atividade de raios. Turman e Edgar (1982), também usando os dois satélites DMSP, descobriu que seus detectores ópticos gravavam cerca de dois por cento dos raios dentro de seus campos de visão. Turman (1978) usou uma fila de 12 fotodiodos, cada um com um campo de visão de 700 km por 700 km, a bordo de um satélite DMSP para observar 10.000 *flashes* de 24 complexos de tempestade durante 15 órbitas.

Durante a década de 1990, pesquisadores da National Aeronautics and Space Administration (NASA) desenvolveram um mapeador de raios desenvolvido para órbitas geoestacionárias. Ele foi desenvolvido para detectar raios de alturas geoestacionárias com uma resolução espacial de 10 km e com uma resolução temporal de 1 ms. O sensor é uma matriz óptica de CCD com eletrônica capaz de detectar luminosidade transiente de raios, mesmo durante o dia. A maior parte dos satélites que foram feitos para detectar emissões ópticas de raios utilizaram imageamento CCD, visto que teve sucesso em seu primeiro uso nos satélites da NASA.

Detectores ópticos derivados do projeto do mapeador geoestacionário foram colocados em dois satélites que voaram em órbita baixa na Terra, onde observaram faixas da Terra à medida que a circulavam. Esses satélites eram o OTD e o LIS. O Optical Transient Detector (OTD) operou por cinco anos, tinha um campo visual de 100° e portanto observava uma área de $1300 \times 1300 \text{ km}^2$, cerca de $1/300$ da superfície da Terra, em qualquer instante, orbitando a Terra em 100 minutos com uma resolução espacial nominal de cerca de 10 km e uma resolução temporal nominal de 2 ms (Christian et al. 1992, 1996). Boccipio et al. (2000b) estimou que o OTD tinha, em

média, aproximadamente entre 20 e 40 km de erro espacial e menos que 100 ms de erro temporal. O segundo mapeador de raios orbital foi o Lightning Imaging Sensor (LIS), que foi lançado a bordo do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). O LIS observa uma região de 600 x 600 km² com uma resolução do tamanho da tempestade que é potencialmente menos que 10 km, e sua eficiência para detecção de *flash* estimada é próxima de 90 por cento.

Mais tarde, o mesmo desenho implementado no LIS foi lançado como carga útil do satélite FORTE, juntamente com um receptor de rádio frequência. Quando os dados obtidos pelos sensores do LIS foram comparados com os dados adquiridos em solo por detectores VHF, foi observado que o satélite havia adquirido dados coerentes e confiáveis. O Sistema Óptico de Raios (OLS) do FORTE consistiu de dois detectores ópticos transientes. Um é um fotômetro rápido de banda-larga (o Detector de Fotodiodos (PDD)), que gravava séries temporais de eventos com resolução de 15 μ s. O PDD era sensível para comprimentos de onda entre 0.4 e 1.1 μ m e gravava uma curva de luz para eventos que ocorriam dentro de seu campo de visão de 80°. (O OLS tinha um campo de visão menor que os receptores de rádio frequência, e portanto os dados coincidentes de RF/óptico foram limitados a eventos ocorrendo dentro desse campo menor, onde esses dados eram claramente observáveis). O segundo detector óptico no FORTE era o Sistema de Localização de Raios (LLS), uma matriz de CCD de 128 por 128 pixels que podia geolocalizar eventos dentro de 10 km no solo. O LLS consistiu de uma montagem óptica na dianteira, uma montagem de plano focal de CCD com posição fixada e eletrônicos de controle, e um módulo de processamento de sinais e de operação desenvolvido pela Sandia para discriminação dos dados de raios.

A carga útil do RaioSAT foi idealizada com bases nesses experimentos e nessas tecnologias anteriores.

2.2 Materiais e métodos

São apresentados o cronograma planejado para o projeto como um todo e o trabalho efetuado durante a iniciação científica para o aluno.

2.2.1 Projeto geral

Para facilitar o financiamento do projeto, o custo do satélite e dos sistemas correspondentes deverá ser mínimo possível, com preferência para os nanossatélites tipo cubeSAT.

Altitude máxima de 680 km para que a reentrada na atmosfera não se dê num período acima de 25 anos.

Órbita polar como preferencial, pois apresenta o menor custo de lançamento via *piggyback* ou via estação espacial internacional.

Como forma de atender o objetivo (c), o processo de desenvolvimento deverá ter como referência o *Space Mission Analysis and Design* (SMAD).

Como forma de atender o objetivo (c), o processo de desenvolvimento deverá utilizar técnicas de modelagem de sistemas em SysML e *Model Based Systems Engineering* (MBSE).

2.2.1.1 Visão geral do sistema

- a) Carga útil autônoma para a detecção das descargas atmosféricas com uso de câmera de imageamento.
- b) Sensor de RF com antena VHF passiva para a detecção de rádio frequência na faixa de algumas de 50 a 200 MHz.
- c) O satélite RaioSAT deverá ter a capacidade de realizar apontamento com resolução a definir.
- d) Configurações alternativas a serem avaliadas na fase de projeto conceitual:

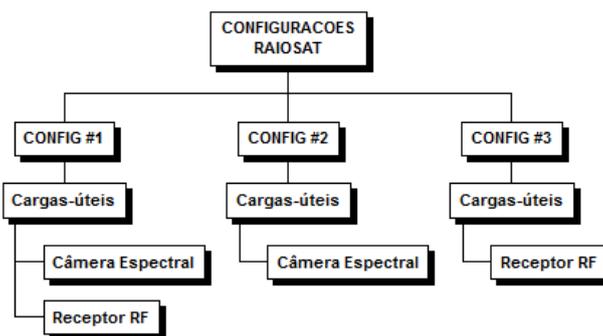


Figura 1 - Configurações do RaioSAT

Configuração 1

Esta é a configuração de desejável. Talvez não seja possível realizá-la num cubeSAT, devido às dimensões da antena de RF, ou mesmo numa primeira missão, de modo que outras configurações devem ser consideradas.

Configuração 2

Esta configuração é a mais simples de ser implementada caso não seja possível a configuração 1.

Configuração 3

Esta configuração é a que mais apresenta dificuldade de implementação devido às dimensões da antena de RF serem potencialmente restritivas para um cubeSAT. Estudos de dimensionamento de antena e carga-útil RF foram conduzidos na Iniciação científica para viabilizar uma solução. Com uma antena com direção fixada no nadir, o satélite FORTE também utilizou uma antena muito maior que as dimensões do satélite aparentemente permitiriam, o que mostra que é viável para pequenos satélites.

2.2.1.2 Escopo de Desenvolvimento

Ao seu final, o Projeto RaioSAT deverá fornecer as seguintes entregas:

- a) Satélite de pequeno porte para detecção de descargas atmosféricas;
- b) Dados dos sensores ótico e de VHF que possibilitarão discriminar pela primeira vez os tipos de descargas atmosféricas detectada pelo satélite RaioSAT;
- c) Estação de solos de controle de missão e de recepção de dados da carga-útil;

- d) Software de controle do satélite SatCS, desenvolvido pelo grupo DSS da ETE;
- e) Artigos científicos sobre tecnologia de detecção de descargas atmosféricas e de desenvolvimento de pequenos satélites.

2.2.1.3 Organização do Projeto

As organizações que fazem parte direta ou indiretamente do projeto RaioSAT:

Desenvolvimento

- a) CCST/ELAT
- b) ETE/DSS
- c) LIT/LSIS
- d) DCTA/ITA

Financiamento

- a) FAPESP
- b) AEB
- c) CNPq
- d) CAPES

2.2.1.4 Cronograma

Tabela 1 – Cronograma do projeto geral

Marco de projeto	Duração
Início do projeto	D
Início do processo de alocação de frequência	D + 3 meses
Definição da missão	D + 7 meses
Modelo de engenharia das cargas-uteis	D + 11 meses
Ensaio em balão meteorológico	D + 12 meses
Qualificação	D + 19 meses
Contratação do lançamento	D + 19 meses
Modelo de voo do satélite	D + 24 meses
Lançamento	D + 30 meses

2.2.2 Projeto da Iniciação Científica

As atividades desenvolvidas durante a Iniciação Científica estão resumidas a seguir:

Semana 07-08-2015:

- Apresentação inicial do projeto:
 - Esclarecimento dos objetivos: Implementar uma nova tecnologia que seja capaz de detectar raios da atmosfera e identificar suas propriedades a partir de sensor óptico e de um sensor eletromagnético.
 - Origem do projeto: Ideia surgiu a partir da leitura de dois artigos sobre satélites que implementaram essas tecnologias de detecção de raios separadamente, visando sintetizá-las em um único CubeSAT.
 - Material para estudo e artigos já existentes do projeto: artigo de apresentação do projeto; relatório mais recente com as especificações até o momento do satélite e de seu payload;
- Planejamento das atividades conforme Plano de Trabalho

Semana 14-08-2015:

- Primeira aula: introdução aos raios (Dr. Kleber – ELAT/CCST)
 - Circulação do ar na atmosfera; ventos alísios; ar quente tende a subir, esfriando a medida que sobe.
 - O Sol é um grande reator nuclear; Emite radiação eletromagnética para a Terra, que chega como luz e calor; o calor esquenta as partículas de ar na superfície (os raios luminosos refletem da superfície como raios térmicos), o ar sobe, contendo vapor d'água.
 - Ao resfriar, mais afastado da superfície, o vapor d'água começa a condensar, formando micro gotículas, que virão a ser as nuvens.
 - A partir de certa altura, a temperatura passa a ser abaixo de 0 graus Celsius, de modo que também começa a se formar gelo.

- Essa composição de pequenas partículas de gelo e de água cria uma diferença de potencial eletrostático que será a origem do raio.
- Um raio pode ser intra-nuvem ou nuvem-solo. A maioria, cerca de 90% é intra-nuvem.
- Além de grande luminosidade, os raios emitem radiações eletromagnéticas em frequências bem características, além de a luz emitida ocupar faixas bem estreitas do espectro luminoso (as faixas do O₂ e do N₂).
- Busca de literatura científica sobre antenas VHF (Very High Frequency – faixa de frequência da radiação eletromagnética dos raios):
 - Artigo de uma revista sobre o mapeamento de raios Intra Nuvem. Falava sobre um sistema de mapeamento VHF-UHF para aplicação na reconstrução de uma estrutura espacial bidimensional de raios com uma alta resolução temporal. A técnica interferométrica utilizada para a obtenção de alta resolução e baixa ambiguidade foi apresentado, e a influência de parâmetros do sistema e da fonte na precisão da localização, remoção da ambiguidade e na reconstrução da estrutura da fonte foi discutida.
 - Artigo descrevendo a antena VHF utilizada no satélite FORTE para detecção de raios. “As antenas LPA do FORTE podem operar em suas frequências primárias de 30-90 MHz, e podem também operar em seu modo ‘high band’ de 90-270 MHz. Para a medida da polarização, os receptores de rádio a bordo do FORTE podem ser configurados para receber na faixa entre 20 e 300 MHz com banda analógica de 22 MHz. Cada sinal analógico é, então, continuamente digitalizado por um digitalizador de 12 bits na taxa de 50 mega-amostras por segundo (banda Nyquist de 25 MHz)”
 - Patente de uma antena VHF de tamanho reduzido para uso em aviões militares. Resumo: Uma antena VHF compacta de alto ganho para radar sintético aéreo para detecção de alvos escondidos atrás de árvores e florestas. A antena é formada ao cortar uma linha no meio da parede superior de um guia de onda muito fino ao longo de seu eixo. O guia de onda pode ser dobrado e montado na parte de baixa das asas de um veículo aéreo com

protrusão e arrasto de vento mínimos. A antena produz um feixe vertical para baixo olhando para o lado com polarização horizontal para penetração da folhagem e detecção de alvos máximas. O design da antena pode ser adaptado a qualquer frequência para aplicações baseadas no solo e a bordo de navios.

Semana 21-08-2015:

- Segunda aula: Mini curso de conceitos de satélites (Eng. Miguel – DSS/ETE)
 - Visão geral de um satélite, definição e conceito.
 - Finalidades de um satélite, estrutura e subsistemas.
 - a estética de um satélite depende totalmente de sua missão, pois deve estar perfeitamente adaptado para isso;
 - um satélite não consegue realizar múltiplas missões, devendo ser específico o seu projeto para uma única missão.
 - Projetando um satélite: Engenharia de Sistemas
 - Planejamento: Missões gerais, especificações, reuniões a serem feitas, etapas a serem concluídas, requisitos que precisam ser verificados.
- Busca de literatura sobre antenas VHF e sobre filtros para câmeras CCD (os sensores que serão utilizados para a detecção de descargas totais da atmosfera a bordo do CubeSAT) para poder fazer as devidas especificações dos componentes a serem utilizados.
 - Artigo da NASA com análise de missão do satélite FORTE, incluindo o dimensionamento da antena VHF utilizada. A princípio, seria inapropriada para uso no CubeSAT, pois as dimensões da antena são de 11m por 5m, sendo que o CubeSAT mal chega a ter 1m de altura. Isso deslocaria significativamente o centro de massa do satélite, impactando a sua performance na missão. A antena VHF compactada que é utilizada em aviões militares pode ser uma solução para esse problema. Observa-se também que a antena do FORTE era muito maior do que o próprio satélite, sendo que, assim como na trajetória do CubeSAT projetado a câmera sempre estará apontada para a Terra, a antena do FORTE também estava. Então

talvez seja possível trabalhar com o centro de massa deslocada e a órbita mesmo com uma antena muito maior que o CubeSAT.

- Artigo que descreve a implementação do filtro para que passem apenas quatro faixas estreitas do espectro visível, assim como no satélite precisa-se de um filtro que permeie apenas duas faixas, características dos raios. Além disso, os filtros descritos não consideram as condições do vácuo.
- Livro que descreve detalhadamente as câmeras CCD e suas aplicações. Possibilidade de achar algo bem útil sobre filtros ao investigar mais a fundo o livro. Descrição do livro: Endereça as diferenças, similaridades e aplicações entre CCD e CMOS, incluindo conceitos de arquitetura e operações, tal como “full-frame”, transferência interlinear, scan progressivo, filtração de cores, 3T, 4T, 5T e 6T. Os autores discutem novos designs, como EMCCD, EBCCS, Super CCD, e CCDs intensificados, ilustram a teoria de amostragem com vários exemplos, e descrevem as vantagens e limitações de pixels pequenos. Esse monógrafo providencia o contexto necessário para especificar câmeras que usam conceitos radiométricos ou fotométricos, além de informação no sistema todo, da cena até o observador.
- Artigo que descreve o uso de nano fios de alumínio como filtros para o CCD.

Semana 28-08-2015:

- Reunião com desenvolvedores do UbatubaSAT (LIT):
 - Discussão do teste da plataforma proposta por eles – antes do lançamento do satélite com o payload já desenvolvido, deve-se saber a priori que a plataforma funcionará certamente, pois se algo der errado, será possível saber que o erro está no experimento. Se for possível utilizar a plataforma desenvolvida por eles, será uma ótima alternativa em relação a algo mais caro oriundo do mercado internacional.
 - Discussão das especificações para o Satélite e para a sua carga.
 - Exposição mais aprofundada do projeto para eles.

Semana 04-09-2015

- Montagem do relatório parcial das atividades do primeiro mês

Semanas de 11-09-2015 até 06-11-2015

- Montagem dos principais requisitos do projeto conforme descrito no item 4

Semana 13-11-2015

- Discussões sobre a viabilidade técnica do projeto
- Definição de novo material para estudo e referencia

Semanas de 20-11-2015 até 18-12-2015

- Redação do texto de viabilidade do projeto para inclusão no relatório e apresentação do projeto.
 - Pesquisa de satélites que implementaram a tecnologia proposta no projeto anteriormente para detalhar seu funcionamento e explicar seus resultados. Descrito no item 5

Semanas de 15-01-2016 até 12-02-2016

- Participação nas primeiras reuniões do projeto, realizadas no DSS/ETE, no CCST e no LIT

Semanas de 12-02-2016 até 30-06-2016

- Elaboração do relatório final do projeto;
- Projeto geral congelado financeiramente e com relação a outras instituições;
- Aprendizado do uso do software *Proteus* para desenho de placas de circuitos impressas e estudo de um circuito amplificador que fará parte da carga útil do RaioSAT como filtro de sinais.

2.3 Resultados

Para o projeto, não foi possível chegar a nenhum resultado, pois o satélite não foi colocado em órbita para coleta de dados, devido a atrasos ocorridos causados por burocracia extensiva que gerou longos períodos de espera.

3 Conclusão

Concluiu-se com esse projeto a respeito da viabilidade da implementação de sistemas de detecção de raios a partir de um satélite em órbita terrestre, por via da investigação de pesquisas feitas anteriormente nesse aspecto. O projeto RaioSAT, por se basear nos modelos idealizados nessas pesquisas anteriores, possuiu clara evidência de que é viável para produção. No entanto, devido às condições atuais do país e a lentidão burocrática, os equipamentos necessários para a construção de um protótipo e para realização de testes não foi adquirido em tempo hábil. Assim, apenas o projeto teórico e conceitos puderam ser desenvolvidos.

4 Referências bibliográficas

RAKOV, V.A.; UMAN, M.A.. **Lightning: Physics and effects**. Cambridge University Press, 2003. 687 p.

JACOBSON, A. R.; KNOX, S.O.; FRANZ, R.; ENEMARK, D.C.. **FORTE observations of lightning radio-frequency signatures: Capabilities and basic results**. Los Alamos, 1999. 18 p.

CHRISTIAN, H.J. et al. **Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector**. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 108, NO. D1, 4005, doi:10.1029/2002JD002347, 2003. 15 p.

BETZ, H.D.; SCHUMANN, U.; LAROCHE, P.. **Lightning: Principles, Instruments and Applications**. Springer, 2009. 641 p. ISBN: 978-1-4020-9078-3

SUSZCYNISKY, D. M.; LIGHT, T. E.. **Coordinated observations of optical lightning from space using the FORTE photodiode detector and CCD imager**. Los Alamos, 2001. 10 p.