

## **ESTUDO DOS RAIOS ATRAVÉS DE CÂMERAS DE ALTA VELOCIDADE E DE SENSORES DE CORRENTE E CAMPO ELÉTRICO**

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

Christopher do Prado Sato (ETEP, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: christopherdopradosato@gmail.com

Marcelo Magalhães Fares Saba (LAC/CTE/INPE, Orientador)  
E-mail: marcelo.saba@inpe.br

Julho de 2016

## Sumário

1. Plano de Trabalho .....	3
2. Cronograma de Atividades .....	3
3. Introdução.....	3
4. Locais de instrumentação.....	7
5. Metodologia .....	11
6. Resultados e discussão preliminares .....	16
7. Próximas Etapas.....	30
8. Referências Bibliográficas .....	30

## **1. Plano de Trabalho**

Nosso trabalho tem como objetivo estudar as velocidades dos líderes descendentes e ascendentes conectivos (LACS) e não conectivos (LANCS) por meio de câmeras rápidas (V711, V310) situadas no Pico do Jaraguá em São Paulo, mais precisamente em dois prédios idênticos chamados por nós de P1 e P2. Com os vídeos em mãos nós calculamos a velocidade dos líderes usando semelhança de triângulos pela relação da lente da câmera e o tamanho do pixel na lente e a distância do raio com a câmera e a medida real em metros no local. Com isso, tendo o horário utc(GMT) dada pela câmera rápida nós podemos calcular a velocidade dos líderes a cada frame gravado.

Com auxílio de medidas complementares como campo elétrico gerado pelo raio, foi possível alcançar uma precisão maior nas velocidades dos líderes. Novos equipamentos estão sendo adquiridos para aumentar o embasamento das medidas e assim alcançar maior nível de precisão.

## **2. Cronograma de Atividades**

Julho-Dezembro/2015:

- Elaboração planilha excel para análise das velocidades dos LACS e LANCS
- Manutenção equipamentos os prédios P1 e P2
- Testes equipamentos
- Coleta de dados
- Processamento e análise dos dados

Janeiro-Julho/2016:

- Manutenção equipamentos os prédios P1 e P2
- Testes equipamentos
- Coleta de dados
- Processamento e análise dos dados

## **3. Introdução**

Um dos instrumentos utilizados para a elaboração dessa pesquisa é o sensor do campo elétrico gerado pelos relâmpagos. Esse aparelho pertence ao grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do CCST/INPE Para obter as formas de onda do campo elétrico, foi utilizada uma antena de placas paralelas ligada a um integrador, uma antena GPS sincronizada no tempo e um computador para recebimento dos dados (SCHUMANN, 2012), como mostra a Figura 1 (a) e (b).

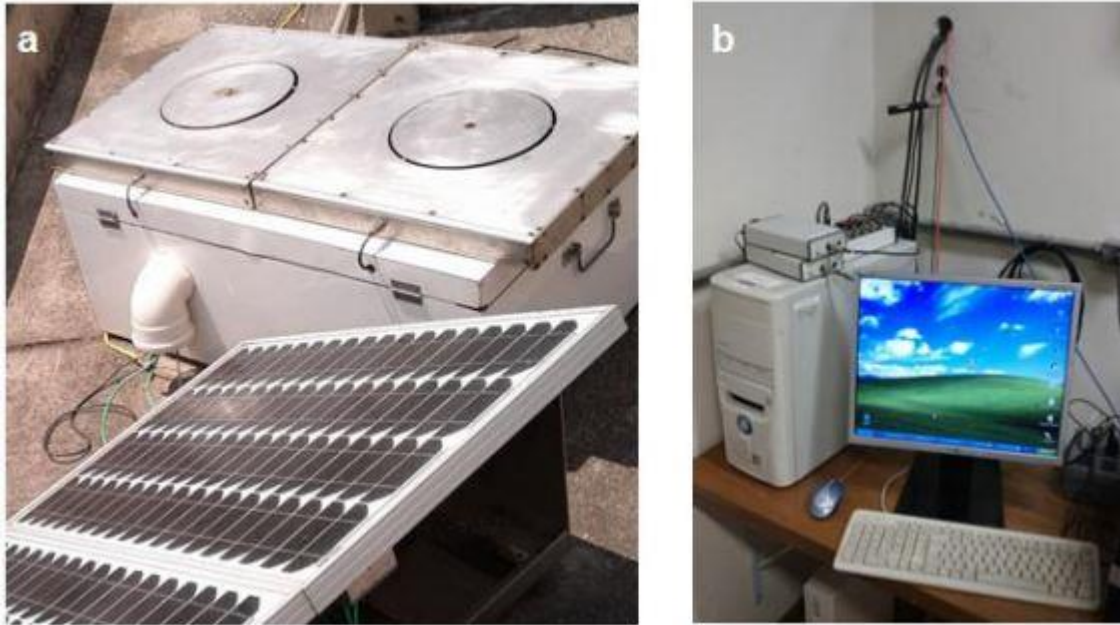


Figura 1 - Sensor de campo elétrico e o painel solar utilizado na alimentação dos integradores

A configuração desse instrumento permite gravar os dados de forma contínua durante a tempestade, podendo mostrar variações de pequena e grande intensidade provocadas no campo elétrico durante um relâmpago. Os dados são gravados em arquivos de 1 segundo de duração. Isso permite estudar as variações do campo elétrico das distintas fases de um relâmpago. Um exemplo da forma de onda produzida por esse campo elétrico é mostrado na Figura 2.

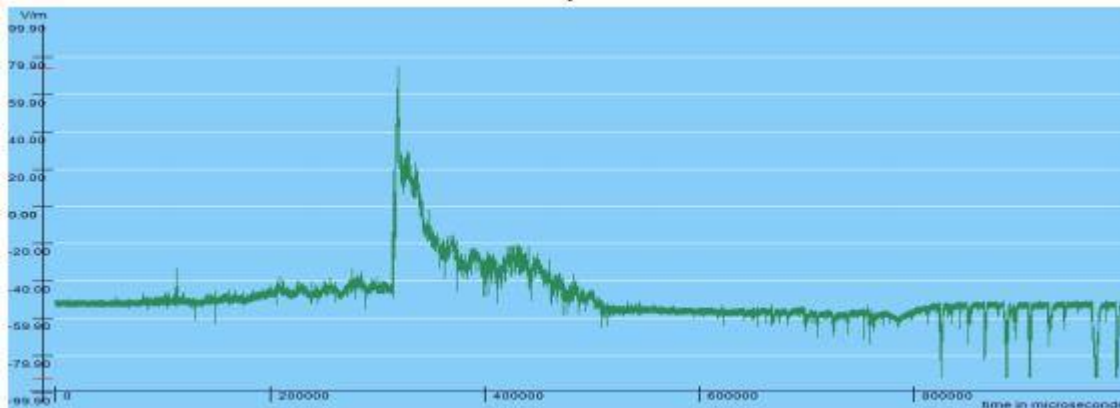


Figura 2 – Exemplo da variação do campo elétrico gerado por um relâmpago ascendente

Outro equipamento bastante utilizado durante a pesquisa foram as câmeras de alta velocidade. A observação de relâmpagos com as câmeras se deu início em 1920, obtendo uma resolução de 200 imagens por segundo (MOREAU et al., 1992). No Brasil, estudos começaram a ser desenvolvidos com câmeras cada vez mais aprimoradas e sofisticadas a partir de 2009 (SABA et al., 2010).

O procedimento operacional das câmeras é basicamente o mesmo. As câmeras são direcionadas para a tempestade que se quer observar e em seguida é feito o ajuste da luminosidade para se obter o contraste adequado. Essas câmeras gravam uma sequência de imagens sincronizada com o tempo do GPS de forma contínua. Quando o operador vê a

descarga, aciona manualmente o trigger para finalizar a gravação. Pelos programas internos de cada câmera é permitido ajustar e gravar o intervalo anterior e posterior do trigger ter sido acionado. Em nosso estudo, foi ajustado o intervalo de 2 segundos para a aquisição das imagens (sendo 1 segundo pré-trigger e 1 segundo pós-trigger).

Para a análise dos registros dos relâmpagos, foi utilizado o software da câmera Phantom, como é mostrado na Figura 3.



Figura 3 - Software utilizado para analisar os relâmpagos

Diante desses principais equipamentos utilizados nessa pesquisa, durante o período de Agosto de 2015 à Janeiro de 2016, buscou-se entender o funcionamento dos equipamentos, bem como a preparação da instalação e manutenção dos mesmos. As instalações foram realizadas em dois prédios na cidade de São Paulo.

Juntamente com a instalação das câmeras e sensores de campo elétrico, foram instalados sensores de corrente elétrica em dois para-raios nos mesmos prédios. A Figura 4 mostra esses aparelhos.



Figura 4

Além disso, foi realizado atividades em laboratório de vídeo, em que buscou-se analisar algumas tempestades que obtiveram relâmpagos, analisando vídeos, campos elétricos, sensores de radar e satélites.

## 4. Locais de Instrumentação

### 4.1 Torre CTA – Sensor de Campo elétrico



Figura 5



Figura 6

### 4.2 Campus USP – Sensor de Campo elétrico

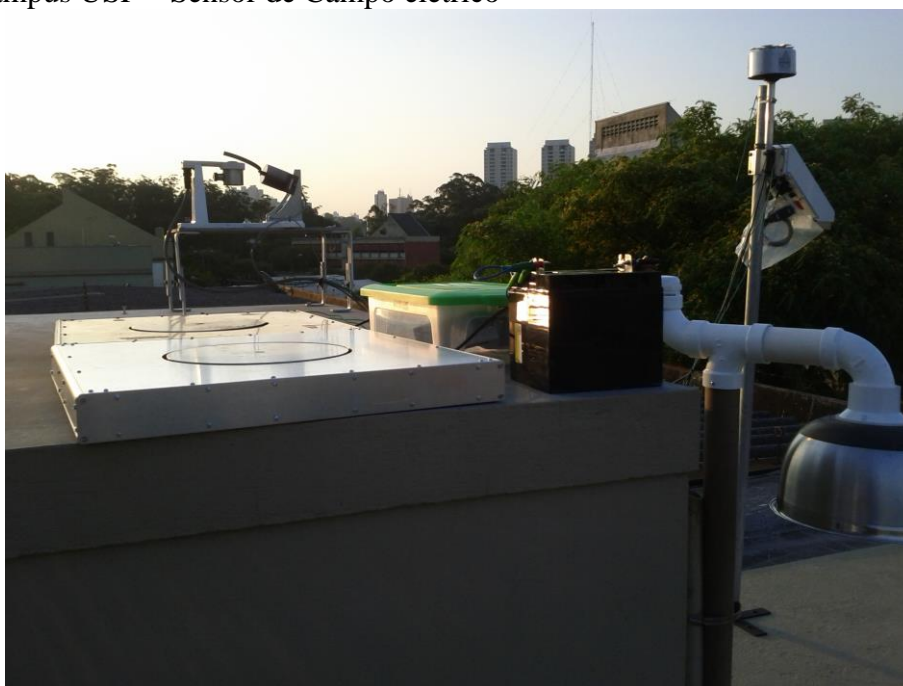


Figura 7



Figura 8

4.3 Pirituba – Sensor de campo elétrico, sensor de corrente e câmeras de alta resolução





Figura 7



Figura 8

## 5. Metodologia

Primeiramente foi feita a instalação e manutenção dos equipamentos a serem utilizados nessa pesquisa, na cidade de São Paulo. Esses equipamentos foram distribuídos em alguns locais diferentes, como Pirituba e no campus da USP. Foram instalados os seguintes equipamentos: sensores de corrente elétrica, sensores de campo elétrico, câmeras de alta resolução e câmeras auxiliares. Para as câmeras de alta resolução foram construídos suportes para que não estragassem com a chuva ao serem expostas no tempo.

Foram construídas duas caixas com a finalidade de proteger os equipamentos e baterias da chuva. Essas caixas ficam acopladas ao sensor de corrente ao lado dos para-raios, como se pode ver na Figura 9.



Figura 9 CAIXA

A utilização de câmeras de vídeo têm como objetivo obter imagens de raios. Estas câmeras operam de forma contínua no caso de câmeras padrões (30 imagens por segundo) ou disparada por um observador em se tratando de câmeras de alta velocidade (acima de 500

imagens por segundo). Em ambos os casos as imagens terão estampadas os horários com precisão de milissegundo através de uma antena tipo GPS.

A utilização de sensores de campo elétrico, operam continuamente, registrando as mudanças no campo elétrico produzidas pelos raios. Estes sensores também possuem uma antena tipo GPS para sincronismo no tempo.

Com esses dois equipamentos, foi possível realizar a comparação das imagens com as medidas de campo elétrico para observação das diferentes características dos processos dos raios.

Para complementar as análises realizados, foram utilizados dados de redes de detecção para observar a distancia de sua ocorrência e a eficiência de detecção da rede.

#### Câmeras usadas



Figura 10 - Câmera V711



Figura 11 - Câmera V310



Figura 12 - Câmera V9

- A análise começa com a calibração do sistema de medição e é necessário dados das câmeras.
- V711 lente 6,5mm
- Tamanho de pixel na lente  $2 \cdot 10^{-5}$  m
- V 310 lente 12mm
- Tamanho de pixel na lente  $2 \cdot 10^{-5}$  m

Para as análises dos vídeos, foi utilizado o método das imagens, segundo o esquema abaixo.

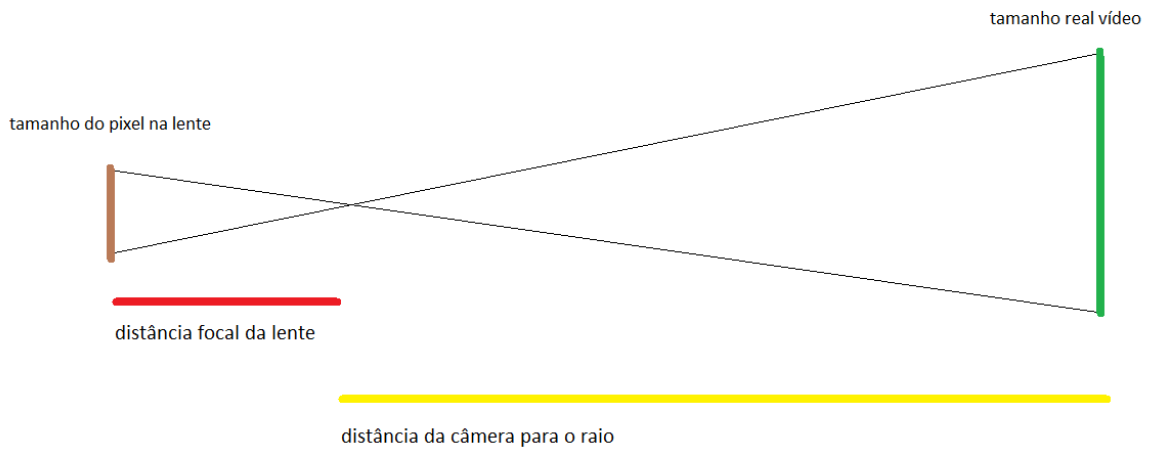


Figura 13 – Método de análise de velocidade dos lideres

- $D$  = Distância câmera - relâmpago
- $d$  = Distância focal da lente
- $h$  = Tamanho de pixel na lente
- $(D.h)/d = H$  (Distância real em m)

Achando a distância do relâmpago até a câmera.

Exemplo:

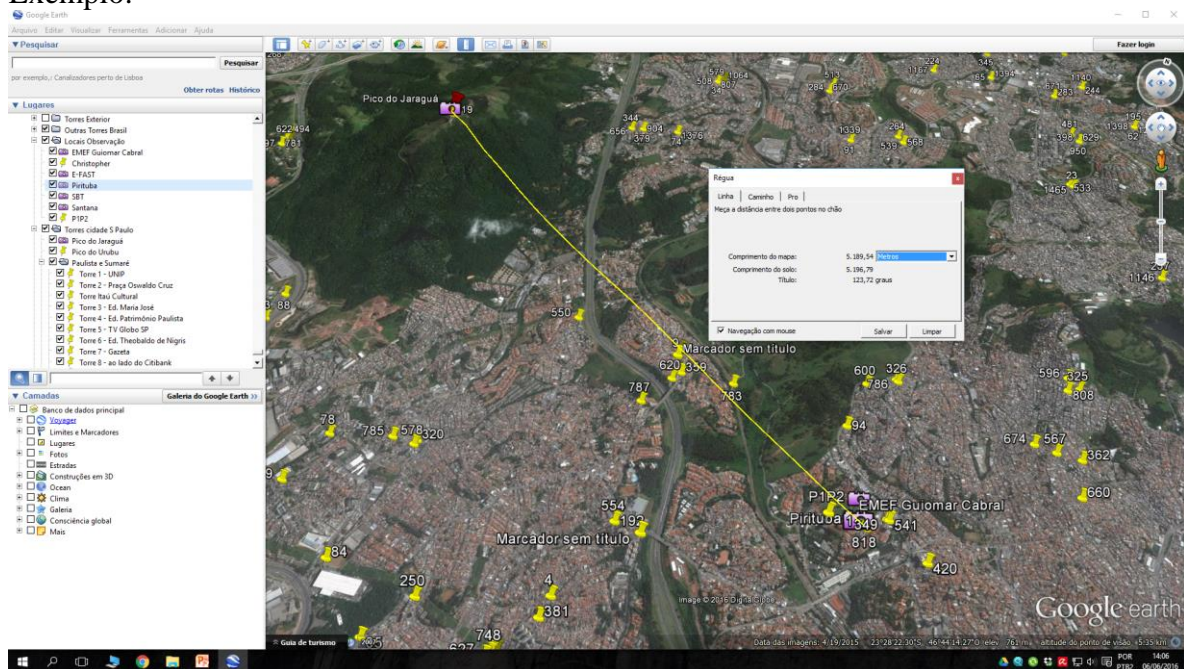


Figura 14 – Distância Câmera P1P2 – T1(5.197m)

Calibração no arquivo Excel:

	J	K	L
Calibração			
Distância camera-relâmpago		5167	
Distância focal lente		0,012	
Tamanho pixel na lente		0,00002	
Calibration (m/pxl):		8,611667	

Figura 15 – Calibração Excel

Achamos coordenadas x e y no vídeo em pixels que nesse caso circulado em amarelo na Figura 10 é  $x=509$   $y=416$  e também anotar na planilha Excel o horário GMT circulado na Figura 10 em vermelho 19:01:22.505 000.47.

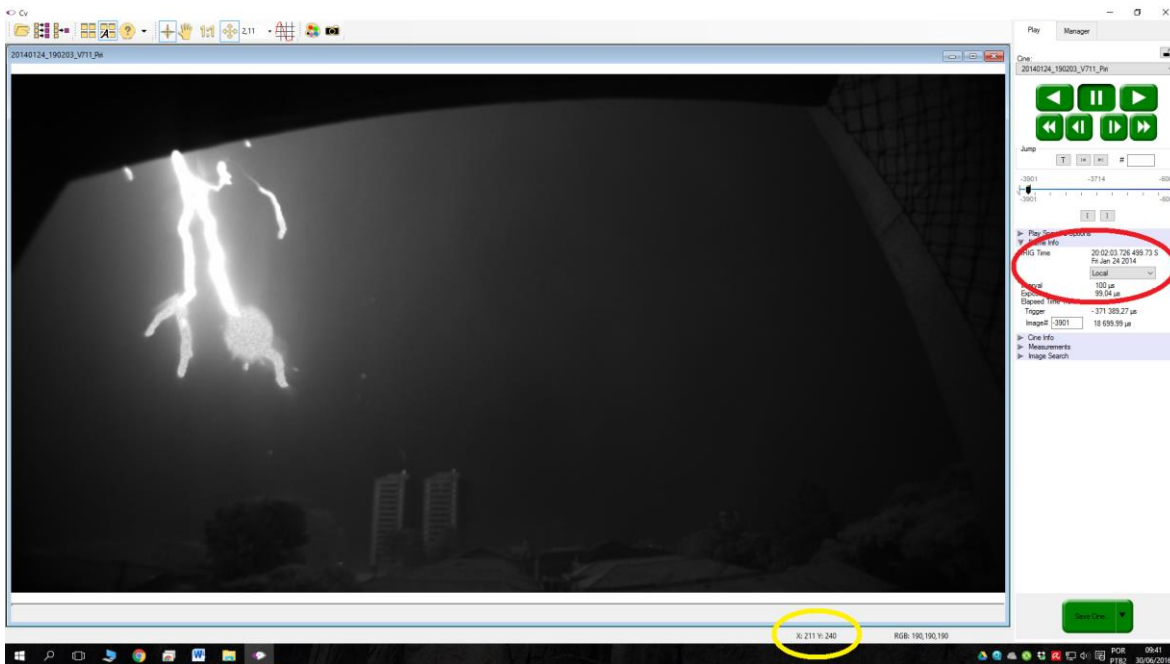


Figura 16 – Coordenadas de x e y no vídeo

Sendo assim anotamos os dados na planilha nos seus devidos locais:

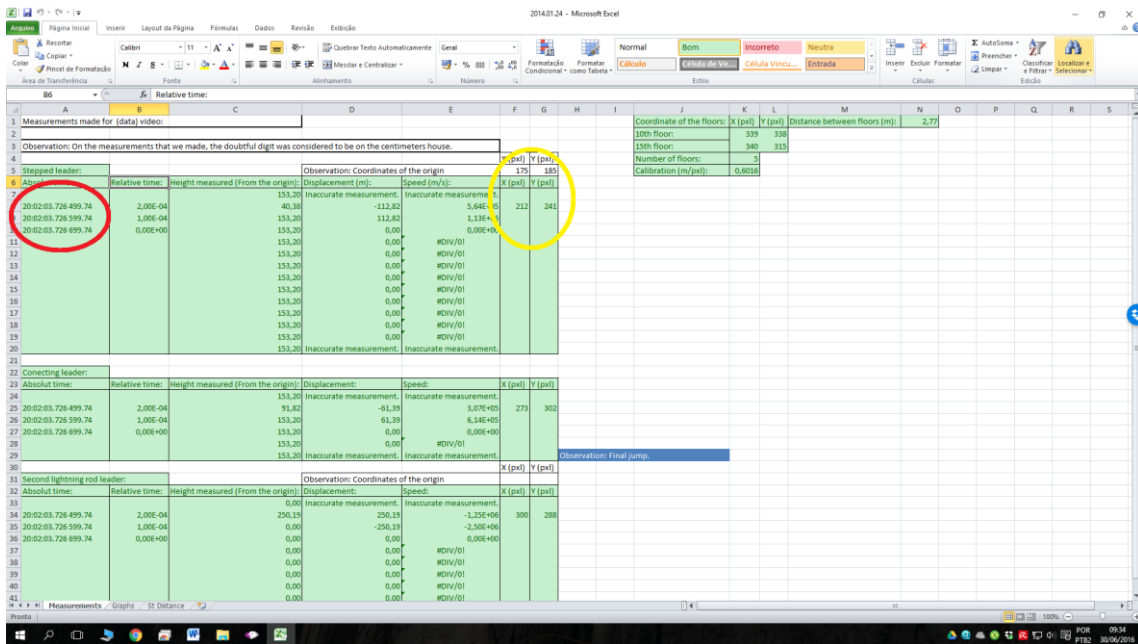


Figura 17 – Planilha exemplo

## 6. Resultados e discussão preliminares

Analisando as imagens das câmeras de alta resolução, identificamos três tipos de conexão: os relâmpagos que conectaram nos prédios em estudo, os relâmpagos que não conectaram nos prédios e aqueles que conectaram em locais conhecidos.

### a. Líderes conectivos nos prédios

São líderes ascendentes que saem dos prédios e se conectam com os líderes descendentes.





Figura 18 – Data: 2013.03.09



Figura 19 – Data: 2014.01.12



Figura 20 – Data: 2014.01.24



Figura 21 – Data: 2014.02.09



Figura 22 – Data: 2014.03.01

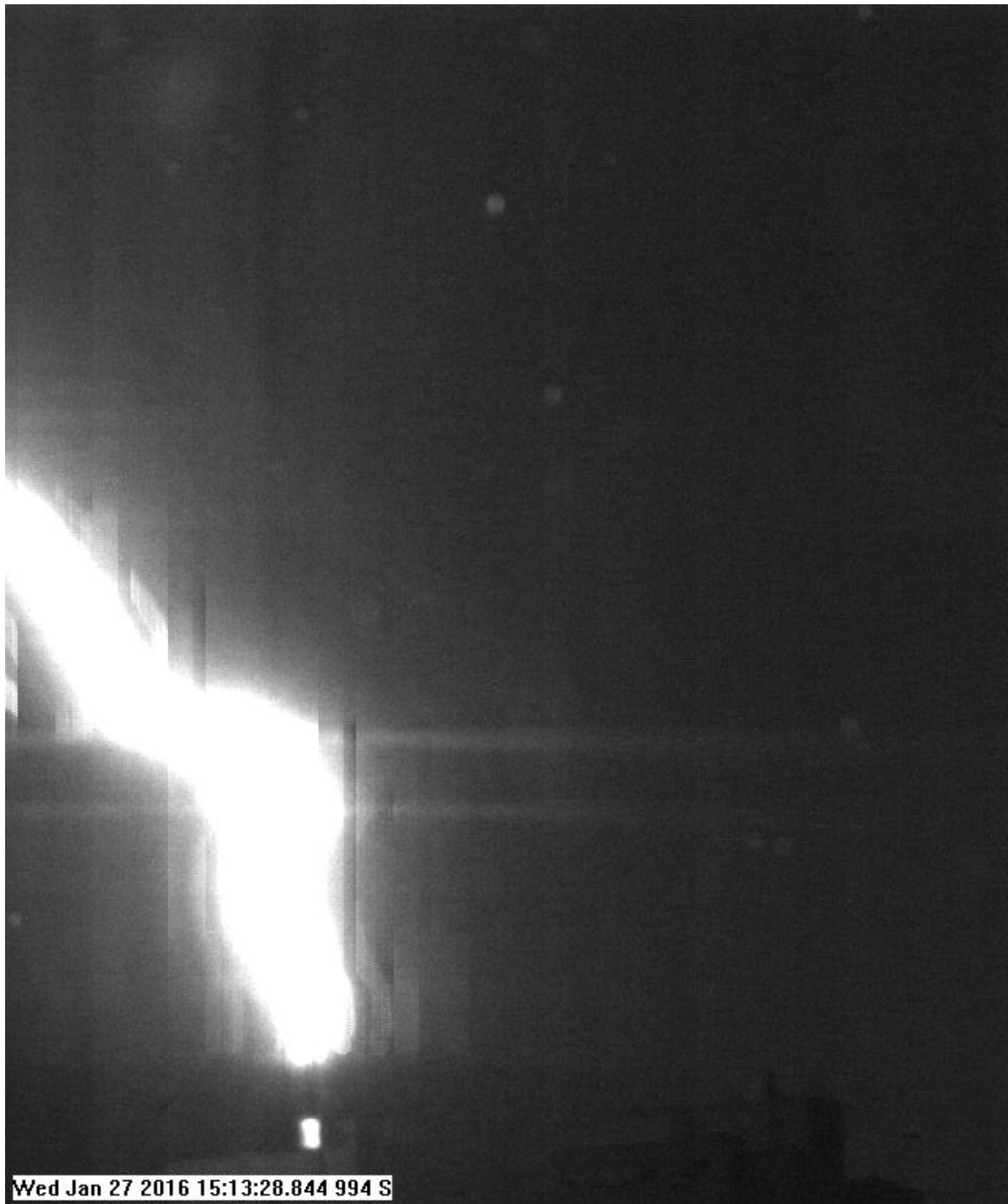


Figura 23 – Data: 2016.01.27

b. Líderes não-conectivos nos prédios

São líderes ascendentes que saem dos prédios mas não conectam com líderes descendentes.



Figura 24 – Data: 2013.02.19



Figura 25 – Data: 2015.01.22



Figura 26 – Data: 2016.02.02

c. Líderes que conectaram em outros locais

São líderes ascendentes que conectam que saem de lugares conhecidos.



Figura 27 – Data: 2013.12.05



Figura 28 – Data: 2014.01.05



Figura 29 – Data: 2014.03.07



Figura 30 – Data: 2015.01.15



Figura 31 – Data: 2012.01.12





Figura 32 – Data: 2012.03.13



Figura 33 – Data: 2012.12.08



Figura 34 – Data: 2012.12.27



Figura 35 – Data: 2013.02.14



Figura 36 – Data: 2013.02.19



Figura 37 – Data: 2013.03.07

Os resultados que estamos encontrando é que, a velocidade dos líderes descendentes é maior que dos líderes conectivos, exceto milissegundos antes da conexão. Nesse momento os líderes conectivos "saltam" em direção ao líder descendente, sendo assim, sua velocidade aumenta bruscamente. E também pelo campo elétrico podemos notar que os líderes descendentes foram todos negativos. No momento da conexão, como foi

observado pelas câmeras, há uma evidência dos líderes conectivos "acelerarem" em direção ao líder descendente.



Figura 38 - Relâmpago registrado no dia 02 de fevereiro de 2016

Além disso, também buscou-se dados de radar, satélite e radio sondagem para todos os eventos registrados nesse verão.

Nesse primeiro ano de estudo, foram registrados cerca de 4 relâmpagos que conectaram nos prédios. Para melhorar nossas análises, esperamos registrar mais casos ao longo do próximo verão.

## 7. Próximas Etapas

- Manter manutenção nos equipamentos já citados acima
- Análise de dados

## 8. Referências Bibliográficas

SABA, M. M. F. ; ALVES, J.; SCHUMANN, C.; Campos, D. R. ; Warner, T. A. .  
Upward Lightning in  
Brazil. In: 22nd International Lightning Detection Conference, 2012, Broomfield.  
22nd International  
Lightning Detection Conference, 2012.

Warner, T. A. ; SABA, M. M. F. ; RUDGE, S. ; BUNKERS, M. ; LYONS, W. A. ;  
ORVILLE, R. E. .

Triggered Upward Lightning from Towers in Rapid City, South Dakota. In: 22nd  
International Lightning Detection Conference, 2012, Broomfield, CO. 22nd  
International Lightning Detection Conference, 2012.

Warner, T. A. ; SABA, M. M. F. ; ORVILLE, R. E. . C

haracteristics of Upward Leaders from Tall Towers. In: 22nd International Lightning  
Detection  
Conference, 2012, Broomfield, CO. 22nd International Lightning Detection  
Conference, 2012