



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **RECONSTRUÇÃO 3D DAS IMAGENS DOS RAIOS**

Leon Knippelberg Bifano Fernandes

Relatório de iniciação científica do  
programa PIBIC orientado pelo Dr.  
Marcelo Magalhães Fares Saba.

INPE  
São José dos Campos  
2022





## RESUMO

A projeção em 3D do canal do raio é um dado muito importante na pesquisa em eletricidade atmosférica, pois proporciona o entendimento do comportamento da descarga líder antes e depois de tocar o solo. Esse projeto visa facilitar a reconstrução 3D de raios a partir da instalação de equipamentos capazes de adquirir imagens de sua propagação e momento de conexão com o solo. Nas imediações do INPE, foram instaladas câmeras de alta velocidade e câmeras de vigilância capazes de adquirir dados visuais da propagação e conexão de raios a estruturas ou locais próximos de sua instalação. Um dos sistemas implementados foi o de câmeras de segurança na torre do CEA e em outra torre pertencente a área do CTA. Além disso, para garantia de captura de imagem de raios com melhor potencial gráfico, foi utilizada para esse trabalho a câmera da marca Eken, modelo H9R na sala de monitoramento (interior do INPE) para gravar as tempestades numa resolução de 720p à 120 FPS (do inglês *frames per second*). Com os bons resultados que a H9R proporcionou, o uso de uma segunda câmera poderia aumentar consideravelmente a taxa de sucesso de captura de imagens se a instalássemos na torre do LIT. Para que isso funcionasse, seria necessário um projeto que acionasse remotamente a câmera por conta da ausência de pessoas em plantão na torre do LIT. O projeto foi iniciado, porém, não concluído por conta da pandemia. Posterior a isso, foi iniciado um projeto em home office de desenvolvimento de um diário que armazenaria todos os registros de captura de imagens de raios, chamado Diário do Plantonista.

Palavras-Chave: Descargas elétricas. Câmeras de vigilância. Reconstrução 3D.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Torres localizadas no interior do INPE, monitoradas durante as tempestades.....	3
Figura 2.2 – Câmera de vigilância (Intelbras, modelo VIP S3330 G2).....	4
Figura 2.3 – Câmeras de vigilância (Sony, modelo SSCDC573).....	4
Figura 2.4 – Localização das câmeras de vigilância no CTA.....	6
Figura 2.5 – Câmeras de vigilância na torre do CTA.....	6
Figura 2.6 – Câmera de vigilância Eken H9R.....	7
Figura 2.7 – Módulo relé com conversor CH340 .....	8
Figura 3.1 – Conexão gravada na torre do CTA.....	10
Figura 3.2 – Imagem de raio descendente obtida pela Eken H9R.....	11
Figura 3.3 – Tabelas do Diário do Plantonista.....	12
Figura 3.4 – Matriz Padrão (Matriz 1).....	13
Figura 3.5 – Padrão de registro utilizado no Diário do Plantonista.....	14



## SUMÁRIO

	<b><u>Pág.</u></b>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 INSTRUMENTAÇÃO .....	3
3 RESULTADOS .....	10
4 CONCLUSÃO.....	12





## 1 INTRODUÇÃO

Os raios são fenômenos naturais muito curiosos por serem extremamente complexos e muitas vezes imprevisíveis. Os perigos que os raios proporcionam aos humanos são evidentes se contarmos com a grande quantidade de relatos de pessoas que sofreram danos ao serem atingidas direta ou indiretamente por uma descarga. Dito isso, a prevenção de acidentes relacionados aos raios é apenas um dos fatores que comprovam a importância do estudo dessa área.

O estudo desse tipo de fenômeno não consiste apenas em aquisição de dados de corrente elétrica, campo elétrico e raios- X, produzidos por raios mas também na obtenção de imagens da propagação do raio. Tais dados são de difícil aquisição pelo fato de tempestades ocorrerem apenas no período do verão e também por conta dos raios serem eventos de curta duração (centenas de milissegundos).

Para que o registro das descargas elétricas fosse feito, foi necessário um estudo de câmeras de vigilância adaptadas de forma a agregasse na coleta de dados dos raios. A gravação dos raios, até então, dependia totalmente de um conjunto de câmeras de alta velocidade, isto é, um tipo de câmera capaz de gravar numa escala de milhares de quadros em um segundo, assim garantindo uma filmagem que demonstre em detalhes a propagação da descarga elétrica. Como esse tipo de equipamento digitaliza uma grande quantidade de quadros em um segundo, consequentemente os arquivos gerados pelo mesmo são muito pesados, dessa forma impedindo a possibilidade de gravar um vídeo do início ao fim de uma tempestade.

A maneira mais viável de adquirir imagens através de câmeras rápidas é utilizando um trigger que ao ser acionado pelo observador, gera arquivos de vídeo que não ultrapassam um segundo. No entanto, o trigger utilizado é um botão que é acionado pelo responsável do monitoramento, e por conta dos raios serem descargas extremamente rápidas, muitas vezes o responsável não é capaz de acionar o trigger a tempo. Por esse motivo, optou-se pela instalação de câmeras de vigilância ao redor do INPE.

Utilizar um sistema de câmeras de vigilância é uma forma de obter a gravação de todos os raios que tocam o solo no campo de visão do observador, garantindo gravações extremamente extensas por conta dos DVRs, que são equipamentos com função de, exclusivamente, armazenar dados de vídeo em um HD Sata acoplado. Como as câmeras de vigilância não tem muita resolução e tem uma baixa frequência de quadros os DVRs são capazes de gravar por dias antes que a capacidade do HD exceda.

## 2 INSTRUMENTAÇÃO

Para a aquisição dos dados presentes neste trabalho foram instaladas câmeras de vigilância nas imediações do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. No decorrer da campanha, duas torres presentes no interior do instituto foram monitoradas durante as tempestades, para registro de possíveis conexões de raios, (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Torres localizadas no interior do INPE, monitoradas durante as tempestades.



Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.

As câmeras de vigilância instaladas são apresentadas nas Figuras 2.2 e 2.3. Esses equipamentos têm que vir acompanhados de diversos materiais (p. ex. cabos e baterias) que mantêm as câmeras funcionando e suportam a carga utilizada. Para a instalação dos sistemas de câmeras de vigilância foram utilizados:

Figura 2.2 – Câmera de vigilância (Intelbras, modelo VIP S3330 G2).



Fonte: Mundinformatica.

Figura 2.3 – Câmeras de vigilância (Sony, modelo SSCDC573).



Fonte: cctvvideo.

- DVR Intelbras;
- Câmeras de segurança da Intelbras;
- Cabos BNC;
- HD Sata;
- NoBreak;
- Bateria 12 Volts;
- Caixa vedada de metal.

Ainda para o processo de aquisição e armazenamento dos dados, foi necessária a instalação de alguns equipamentos, tais como:

- 2x Desktop;
- Cabo de rede;
- Fonte de 3 Volts;
- Eken H9R;
- Módulo relé com conversor CH340;
- Bateria 12 Volts;
- Nobreak

Outro local de observação das descargas, foi uma torre localizada no CTA (Figura 2.4). Foi feita a instalação de um DVR e uma câmera de vigilância da Sony (Figura 2.5). Os vídeos são gravados em apenas 30 FPS em preto e branco para garantir maior nitidez durante a noite, porém, com uma taxa de quadros muito baixa. Alguns dos raios que estão no campo de visão dessa câmera passam despercebidos por serem muito rápidos enquanto outros são gravados, no entretanto, como dito anteriormente, em baixo nível de detalhamento por não passar de dois quadros.

Figura 2.4 – Localização das câmeras de vigilância no CTA.



Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.

Figura 2.5 – Câmeras de vigilância na torre do CTA.



Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.

Foram instaladas também câmeras de vigilância da Intelbras junto a um DVR na torre do CEA, no entanto, contém menor resolução e não foram capazes de armazenar qualquer dado significativo para a pesquisa.

Como se mostra necessário uma forma de adquirir dados de vídeo em maior detalhamento dos que provém dos sistemas de vigilância, aderiu-se a ideia de fazer o uso de uma GoPro ou de um semelhante que seja capaz de gravar em definição HD a 120 FPS. Esse formato de gravação promete ser capaz de gravar vários quadros do momento de conexão embora não garanta detalhes do caminho da descarga como as câmeras de alta velocidade. Foi utilizada uma Eken, modelo H9R (Figura 2.6) na sala de monitoramento para gravar as tempestades numa resolução de 720p à 120 FPS.

Figura 2.6 – Câmera de vigilância Eken H9R.



Fonte: Mercadolivre.

No caso desse tipo de câmera o vídeo deve ser iniciado no começo da tempestade e finalizado no término da tempestade por seu armazenamento ser limitado à um cartão SD. Por estar na sala de monitoramento o responsável pode fazer o acionamento manualmente ao apertar um botão na própria câmera ou do controle remoto.

Como a ideia do uso da H9R seja de certa forma substituir o papel que o sistema de vigilância faz, será necessária uma forma de acionar essas câmeras à longa distância. Uma das opções que o modelo dessa câmera fornece é de um aplicativo que permite uma espécie de acesso remoto à câmera pelo celular ao



conectá-lo com a rede wifi que a própria H9R disponibiliza, no entanto inviável, pois a comunicação entre os dispositivos deve ser realizada independente se estiverem separados por uma longa distância. Não foi descartada também a possibilidade do uso de um emulador de Android que permitisse baixar esse mesmo aplicativo para um Desktop, para que pudesse ser feito o acesso remoto em um PC que estaria próximo e conectado à rede proveniente da câmera; porém o emulador não reconhecia a rede disponibilizada pelo dispositivo.

A melhor solução encontrada consistia em utilizar o controle remoto da H9R, que contém um botão para iniciar/finalizar uma gravação de vídeo e outro botão para tirar fotos, de forma que fosse possível acionar sua comunicação com o dispositivo principal sem necessidade de pressionar os botões, ao fazer uso de um relé que substitui o papel do push bottom.

Ao conectar um relé em paralelo com o botão de gravação de vídeo, é possível fechar a malha do circuito ao fechar o contato do relé, assim liberando a passagem de corrente elétrica pelo circuito do controle remoto e consequentemente acionando a comunicação entre os dispositivos.

Com o módulo relé com entrada USB e conversor CH340 (Figura 2.7) é possível controlar a posição do contato do relé através de comunicação serial que pode ser feita entre um PC e o próprio módulo.

Figura 2.7 – Módulo relé com conversor CH340.



Fonte: usinainfo.

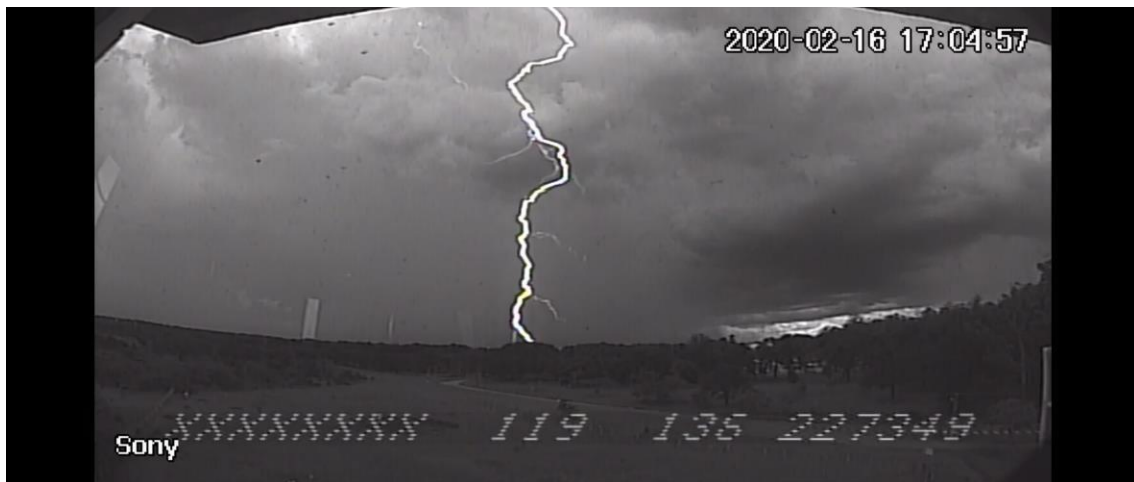
A ideia desse projeto consistia em uma caixa que contenha dentro todos os equipamentos necessários para que fosse possível ser feito um tipo de sistema que garantisse o mesmo tipo de gravação que foi feita na sala de monitoramento com a Eken H9R, em locais mais externos, altos e com um bom campo de visão para o céu, assim como as câmeras de vigilância instaladas nas torres do CEA e do CTA; e que pudesse ser controlado remotamente. Para que o projeto atendesse todos os pré-requisitos, seriam necessários um PC que obtenha o programa para comunicação com o módulo relé e acesso à internet para o uso do Google Remote, de forma que seja possível; a câmera Eken H9R conectada a uma fonte de alimentação; o controle remoto da H9R com uma fonte substituindo sua bateria; um noBreak para que os dispositivos se mantenham sempre ligados; uma Bateria para acompanhar o noBreak; uma caixa com visor para H9R que seja resistente e impermeável para abrigar todos os componentes citados anteriormente; e por fim um PC na sala de monitoramento que acesse remotamente o outro que estará dentro da caixa.

### 3 RESULTADOS

Os resultados preliminares do trabalho de iniciação científica são apresentados abaixo. Como forma de demonstrar a aquisição das câmeras de vigilância instaladas nos locais de observação, temos a Figura 3.1. A imagem de uma descarga descendente que tocou o solo em 16 de fevereiro de 2020, no horário UT 17:04:57. Este registro foi obtido na torre do CTA. O mesmo raio foi adquirido pelas câmeras de vigilância no interior do INPE (Figura 3.2).

Em princípio, com a aquisição dessas imagens do raio é possível iniciar sua reconstrução 3D. Entretanto, o trabalho busca mais eventos como este para outras reconstruções.

Figura 3.1 – Conexão gravada na torre do CTA.



Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.

Esse projeto não foi terminado por conta da pandemia, mas futuramente permitirá que responsável de monitoramento inicie e finalize a gravação de vídeo de uma H9R, que esteja muito longe, da sala de monitoramento.

Figura 3.2 – Imagem de raio descendente obtida pela Eken H9R.



Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.

A partir de 2020, com o início da pandemia não foi possível trabalhar muito durante o verão para se obter mais capturas de imagens dos raios assim como seus respectivos dados de corrente elétrica, campo elétrico e raio X. Logo as expectativas não foram atendidas. Além disso, o ambiente onde realizamos esse trabalho não é favorável na obtenção de imagens, pois o INPE se localiza numa região muito arborizada além de não ser uma área de altitude ideal. Com intuito de garantir melhores imagens, em 2020 algumas das câmeras rápidas foram enviadas para um grupo de pesquisa de raios na África do Sul, de forma que ambos grupos possam compartilhar os dados.

Devido a pandemia e a ausência das câmeras de velocidade nas imediações do INPE, a demanda de trabalho diminuiu. Dito isso, no início de 2021 foi preferível dar continuidade no desenvolvimento do projeto em home office.

Desde 2003, tem sido adquirido imagens de descargas elétricas todos os anos. Com o intuito de organizar e catalogar todos esses registros deu-se início ao desenvolvimento do Diário do Plantonista e de novas matrizes, documentos estes que dispõem de todas capturas de imagens de descargas elétricas assim como alguns de seus respectivos dados, desde 2003 até os dias atuais.

Na página inicial de cada matriz do diário são mostrados em uma tabela a quantidade de imagens de raios intra-nuvem (IC), nuvem-solo (CG) e ascendentes (UP) capturados no respectivo anos de cada matriz. Além disso, essa página contém uma segunda tabela que exibe os nomes das câmeras utilizadas, assim como mostrado na figura 3.3:

Figura 3.3 – Tabelas do Diário do Plantonista.

### **Diário do Plantonista Matriz 4 – Verão 2007**

Tipos de Raios		Qtde.
IC		26
CG		292
UP		0
Total		318

Tipos de Câmeras	
R	HS2
S	HS1
P	<u>Phantom</u>

Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.

Nas próximas páginas já são exibidos as imagens dos raios e alguns dados sobre cada um como a sua numeração que serve de identificação, data e horário da descarga de acordo com o sistema GPS, a câmera que a capturou, o frame do vídeo que demonstra maior detalhe no raio e também o tipo de raio.

O processo de catalogar os raios é bem simples porém trabalhoso por ser muito grande a quantidade de registros em formato de vídeo no sistema. Primeiramente, deve-se analisar uma tabela de excel chamada matriz padrão que foi feita previamente. Essa tabela apresenta informações de todos os incidentes de captura da imagem de raios capturados desde 2003. A figura 3.4 a seguir apresenta uma parte da matriz padrão afim de demonstrar o padrão de dados utilizado nesse documento:

Figura 3.4 – Matriz Padrão (Matriz 1).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	MATRIZ	Local	Vídeo	Câmera	Ano	Mês	Dia	Hora	Min	Seg	Ms	Frame	Visibilidade	Stroke Order	Tipo
2	1	SJC	1	HS1	2003	1	10	19	39	34,459	459	-525	v		cg
3	1	SJC	1	HS1	2003	1	10	19	39	34,563	563	-422	v		cg
4	1	SJC	1	HS1	2003	1	10	19	39	34,602	602	-382	v		cg
5	1	SJC	1	HS1	2003	1	10	19	39	34,613	613	-371	v		cg
6	1	SJC	2	HS1	2003	1	10	19	42	30,697	697	-461	v		cg
7	1	SJC	3	HS1	2003	1	10	19	50	12,247	247	-47	v		cg
8	1	SJC	4	HS1	2003	1	10	20	8	1,938	938	-253	v		cg
9	1	SJC	5	HS1	2003	1	10	21	10	18,868	868	-596	v		cg
10	1	SJC	6	HS1	2003	1	21	18	56	4,700	700	-570	v		cg
11	1	SJC	6	HS1	2003	1	21	18	56	4,730	730		v		cg
12	1	SJC	6	HS1	2003	1	21	18	56	5,512	512		v		cg
13	1	SJC	6	HS1	2003	1	21	18	56	5,629	629		v		cg
14	1	SJC	6	HS1	2003	1	21	18	56	5,635	635		v		m
15	1	SJC	7	HS1	2003	2	13	0	14	16,630	630	-322	v		cg
16	1	SJC	8	HS1	2003	2	13	0	16	53,937	937		p		cg
17	1	SJC	8	HS1	2003	2	13	0	16	53,968	968		p		cg
18	1	SJC	8	HS1	2003	2	13	0	16	54,089	1089		d		cg
19	1	SJC	9	HS1	2003	2	13	0	22	33,876	876		d		cg
20	1	SJC	9	HS1	2003	2	13	0	22	33,893	893		d		cg
21	1	SJC	9	HS1	2003	2	13	0	22	33,956	956		d		cg
22	1	SJC	9	HS1	2003	2	13	0	22	34,024	24		d		cg
23	1	SJC	10	HS1	2003	2	13	0	37	13,287	287		v		cg
24	1	SJC	10	HS1	2003	2	13	0	37	13,754	754		v		cg
25	1	SJC	10	HS1	2003	2	13	0	37	13,813	813		v		cg

Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.

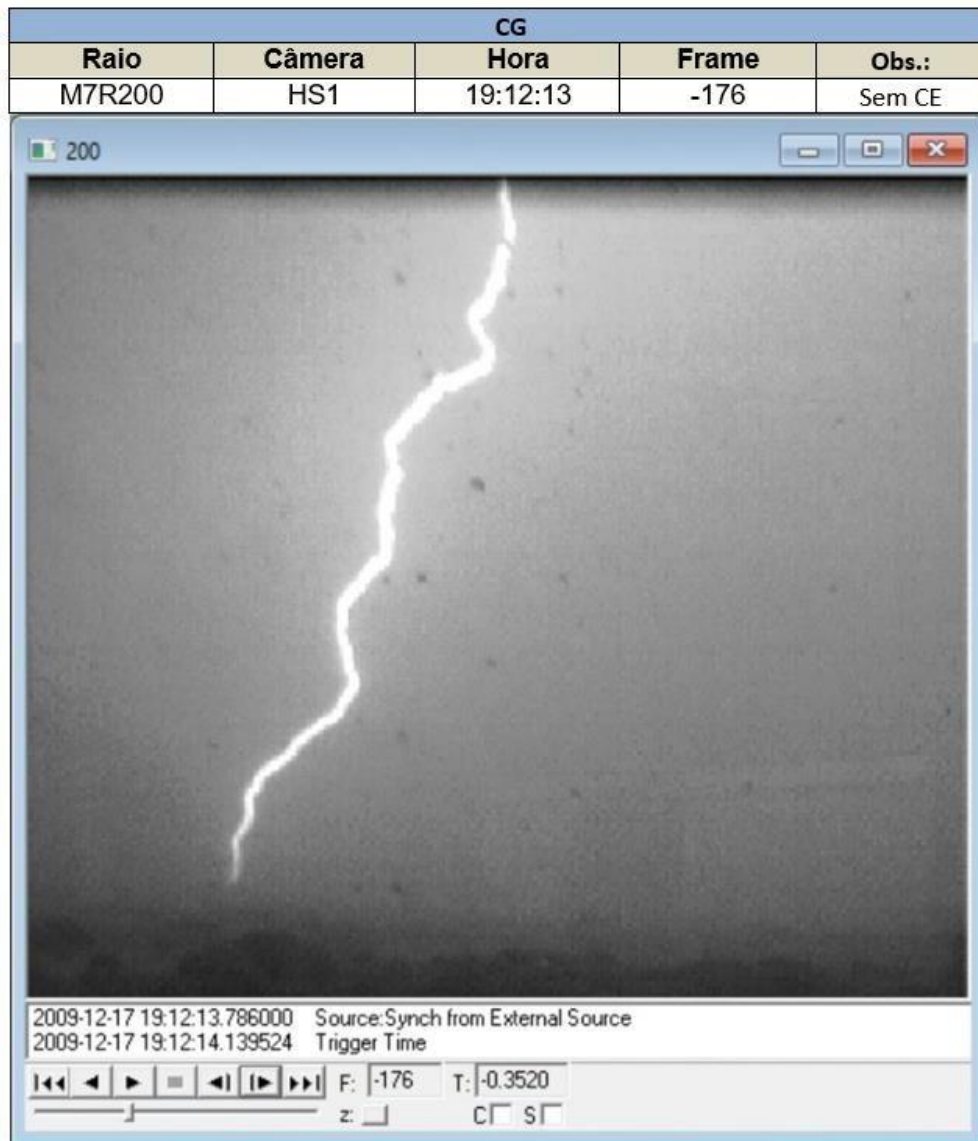
A matriz padrão contém muitos detalhes sobre cada descarga elétrica, mas o mais importante a ser analisado é o quadro do vídeo que essa ocorre. Depois de conferir o frame do vídeo, a aquisição da imagem fica mais fácil por ser possível pular direto para o frame em específico.

Quando não há disposição dessa matriz para facilitar o processo de captura de imagem, é necessário criar uma. Dito isso, esse também era um dos trabalhos que venho realizado. Para criar a matriz padrão é necessário assistir todos os vídeos gravados durante as tempestades e catalogá-los. O processo é o seguinte: para cada um dos strokes capturados em cada um dos vídeos deve-se escolher um bom frame onde o canal esteja visível; e ao escolher esse quadro, informações como o dia em que foi gravado, o horário do acontecido em precisão de milissegundos, a visibilidade do canal do raio, o número de identificação do vídeo, o tipo de raio e também as coordenadas da descarga elétrica, devem estar disponíveis na matriz padrão, como foi mostrado na imagem acima. Para adquirir os dados de coordenada de cada raio, é necessário fazer uso do Net Raios, programa criado pelo próprio ELAT para catalogar raios. Esse programa que disponibiliza as informações de horário e coordenada de cada raio registrado.

Grande parte das aquisições de vídeos que capturaram relâmpagos gravados

no decorrer de todos esses anos de pesquisa já foram registrados no Diário do Plantonista. A figura 3.5 a seguir apresenta um dos registros do Diário do Plantonista afim de demonstrar o padrão de dados utilizado nesse documento:

Figura 3.5 – Padrão de registro utilizado no Diário do Plantonista.



Fonte: Arquivos do grupo de eletricidade atmosférica.



#### **4 CONCLUSÃO**

A implementação desses projetos tem colaborado muito com a coleta de dados não apenas por aumentar a chance de captura de imagens de raios, mas também por muitas vezes agregar com capturas de vários ângulos de um mesmo raio quando mais de um desses sistemas obtém sucesso, o que é crucial para possibilitar uma reconstrução 3D do raio. Além disso, o desenvolvimento do Diário do Plantonista e das matrizes já tem contribuído muito com a organização dos dados adquiridos em todo o decorrer desses anos de pesquisa do grupo de eletricidade atmosférica.

