

ESTUDO DE RAIOS ASCENDENTES ATRAVÉS DE CÂMERAS DE VÍDEO E CAMPO ELÉTRICO

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

Hugo Mitsuo Sakamoto (Poli-USP, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: hugo.sakamoto@usp.br

Marcelo Magalhães Fares Saba (CST/ELAT/INPE, Orientador)

E-mail: marcelo.saba@inpe.br

Julho de 2013

RESUMO

Este relatório apresenta o trabalho desenvolvido ao longo dos meses compreendidos entre agosto de 2012 e julho de 2013 sobre o monitoramento e estudo de raios ascendentes na cidade de São Paulo. A partir dos dados coletados por câmeras de vídeo e variações de campo elétrico e sua eventual análise, foi estudada a formação desta espécie de descarga elétrica e os modos apropriados de proteção.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diferenças visuais entre um CG negativo e um positivo, respectivamente.....	2
Figura 2. Gráfico de intensidade de corrente do raio (em kA) com relação ao tempo de corrente contínua (em milisegundos).....	3
Figura 3. Antenas da Avenida Paulista vistas do bairro do Sumaré.....	5
Figura 4. Equipamento utilizado para a gravação das imagens. À esquerda, uma TV, e à direita, de baixo para cima, videocassete, DVR e kiwi.....	6
Figura 5. Câmera de vigilância utilizada no trabalho de filmagem.....	7
Figura 6. Registro de variação rápida de campo elétrico do software Datalogger. O pico indica a ocorrência de uma descarga.....	8
Figura 7. Vídeo produzido por câmera rápida visualizado com o software Phantom....	9
Figura 8. Três descargas simultâneas, sendo duas delas RA, filmadas em uma tempestade durante a noite do dia 29/12/2012.....	11
Figura 9. Intensificação de um dos RA da imagem anterior.....	11
Figura 10. Terceiro RA filmado na noite do dia 29/12/2012.....	12
Figura 11. RA filmado em 09/03/2013.....	12
Figura 12. Outra imagem do RA de 09/03/2013.....	13

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MONITORAMENTO.....	4
2.1 Localização.....	4
2.2 Mecanismos de gravação de imagens.....	6
2.3 Registros de variação de campo elétrico.....	7
3. ANÁLISE DE IMAGENS.....	9
4. OUTROS TRABALHOS.....	10
5. RESULTADOS.....	10
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	13
7. BIBLIOGRAFIA.....	14

1. INTRODUÇÃO

Anualmente, por volta de 50 milhões de raios nuvem-solo (em inglês, “cloud-to-ground” ou simplesmente “CG”) são registrados no Brasil (Pinto Jr. et al., 2009) e esta grande incidência é objeto de diversos estudos, desde a formação destas descargas elétricas dentro das nuvens até os efeitos causados nos locais de incidência. Esse número coloca o país como um dos líderes mundiais nesta estatística e o fato é explicado por diversos fatores, entre eles a sua grande extensão territorial (5º maior país em área do mundo) e sua localização geográfica (dentro da zona tropical - com maior ocorrência de chuvas).

No entanto, uma pequena parte das descargas atmosféricas, em vez de irem da nuvem para o solo, toma o sentido contrário, isto é, saem de alguma estrutura física do solo (árvores, antenas, torres) e atingem as nuvens. Apesar de apresentarem uma incidência reduzida - apenas 20% das descargas atmosféricas fazem a conexão da nuvem para o solo (os raios) e desta porcentagem, a grande maioria é de comportamento descendente (Saba, 2011) - comparando com os demais tipos de raios, as nuvens solo-nuvem (“raios ascendentes” - ou simplesmente, "RA"), possuem características que devem ser estudadas, tais como: tempo e intensidade da descarga, o fato de partirem de uma única estrutura do solo - mais carga proveniente de um único lugar, ao contrário das CG, que podem possuir vários contatos diferentes com a superfície -, o comportamento frente aos equipamentos de detecção de raios - totalmente diferente das CG -, entre outras.

Em primeiro lugar, deve-se ressaltar a polaridade da descarga elétrica. Os raios chamados negativos são aqueles que possuem o trânsito de cargas negativas da nuvem para o solo, enquanto que os raios positivos apresentam cargas positivas movendo-se neste sentido. A diferença de polaridade entre cada espécie de descarga apresenta também algumas características distintas, tanto do ponto de vista visual, como do ponto de vista físico. Visualmente, as descargas negativas apresentam maior ramificação e, conseqüentemente, podem tocar em mais pontos no solo, distribuindo melhor - deste modo - a sua carga elétrica. Já as descargas positivas apresentam menor ramificação e, portanto, possuem maior concentração de carga elétrica no local de contato, conforme a imagem 1.



Figura 1. Diferenças visuais entre um CG negativo e um positivo, respectivamente.

No campo físico, é importante ressaltar a relação entre tempo de corrente contínua e intensidade de descarga. Nos raios negativos, a maioria apresenta dois comportamentos distintos: tempo de contato alto e intensidade baixa, ou intensidade baixa com tempo de contato alto. No entanto, os raios positivos não seguem o mesmo padrão, e frequentemente é observado alto tempo de contato e altas intensidades, sendo, desta maneira, mais perigosos e potencialmente destrutivos. A imagem 2 relaciona as duas grandezas com os dois tipos de descarga.

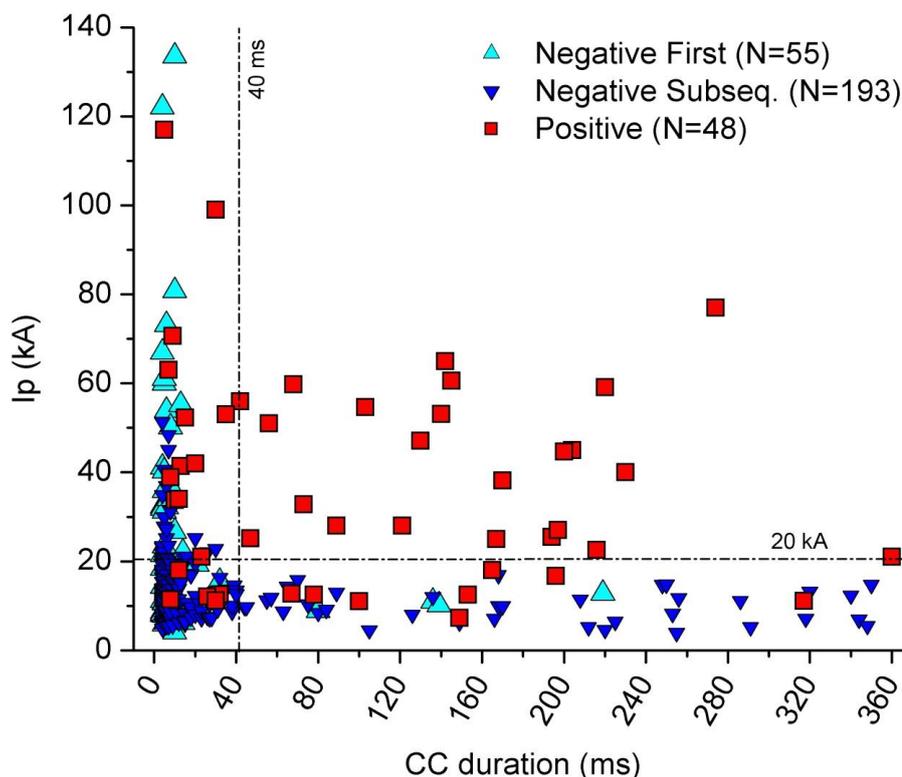


Figura 2. Gráfico de intensidade de corrente do raio (em kA) com relação ao tempo de corrente contínua (em milissegundos).

Dos RA estudados até hoje, todos apresentaram polaridade positiva. Isso, aliado ao fato de que as descargas solo-nuvem partem de apenas um local da superfície, determinam um risco elevado, mesmo estes não sendo diretamente apontados à terra.

Os raios ascendentes surgem quando ocorre a polarização da ponta de alguma construção alta da superfície. A nuvem, por diversos fatores, acaba concentrando cargas em seu interior - positivas ou negativas. Fisicamente, o potencial elétrico gerado por uma carga é dado pela seguinte equação:

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 d} \text{ (eq. 1)}$$

Onde Q é a carga do objeto, ϵ_0 é a constante dielétrica do meio e d é a distância de um ponto a esse objeto. Como pode ser verificado, este potencial varia de acordo com o inverso da distância entre eles. Como picos de antenas e lajes de prédios são os locais

mais próximos das nuvens, estes adquirem uma diferença de potencial mais facilmente do que o solo por efeito de polarização. Quando este potencial torna-se muito intenso, rompe-se o dielétrico do ar (que, a princípio, é um isolante) e há o transporte de carga solo-nuvem. Além disso, os raios ascendentes também podem ser suscitados de outras maneiras - um exemplo é a presença anterior de alguma descarga nuvem-solo.

Os RA a partir de estruturas altas começaram a ser estudados por volta de 1939, em locais como a Europa (durante as tempestades de verão), Japão (tempestades de inverno) e Estados Unidos (tempestades de verão). No entanto, pela grande incidência de raios por ano, iniciou-se o estudo destes raios também no Brasil, começando-se pela cidade de São Paulo, que possui uma densidade de descargas por volta de 15 raios/(km².ano) (Saba et al., 2012).

2. MONITORAMENTO

2.1 Localização

Em janeiro de 2012, foram registrados os primeiros RA no Brasil, graças ao monitoramento de duas torres do Pico do Jaraguá - local mais elevado da cidade de São Paulo. Esse acontecimento comprovou a hipótese de que poderia haver incidência desses raios na cidade e determinou a observação de outros locais e o estudo destas ocorrências.

Foram monitoradas, além do Pico do Jaraguá durante o restante da temporada, as regiões da Avenida Paulista e centro de São Paulo. O motivo foi a numerosa presença de torres e altas construções nestes locais - fonte provável de RA. O monitoramento destes locais foi feito por uma câmera de vigilância comum que esteve localizada em um prédio no bairro do Sumaré, zona oeste da cidade.

Este local foi escolhido pelo fato de ser um dos mais altos de São Paulo. Isso propiciava um alcance de visão elevado, abrangendo desde o Pico do Jaraguá até o início da Avenida Rebouças. Para que se obtivessem boas filmagens, a câmera foi instalada no terraço do prédio, um dos mais altos da região.

Do local de trabalho, focaram-se duas regiões específicas de monitoramento: Edifício Itália, no centro de São Paulo, e a avenida Paulista. O primeiro é uma das construções mais altas da região e o último, além de ser outro lugar elevado, possui antenas e construções que, a princípio, facilitariam a formação das descargas de interesse. A imagem 3 mostra a Avenida Paulista vista do bairro do Sumaré.

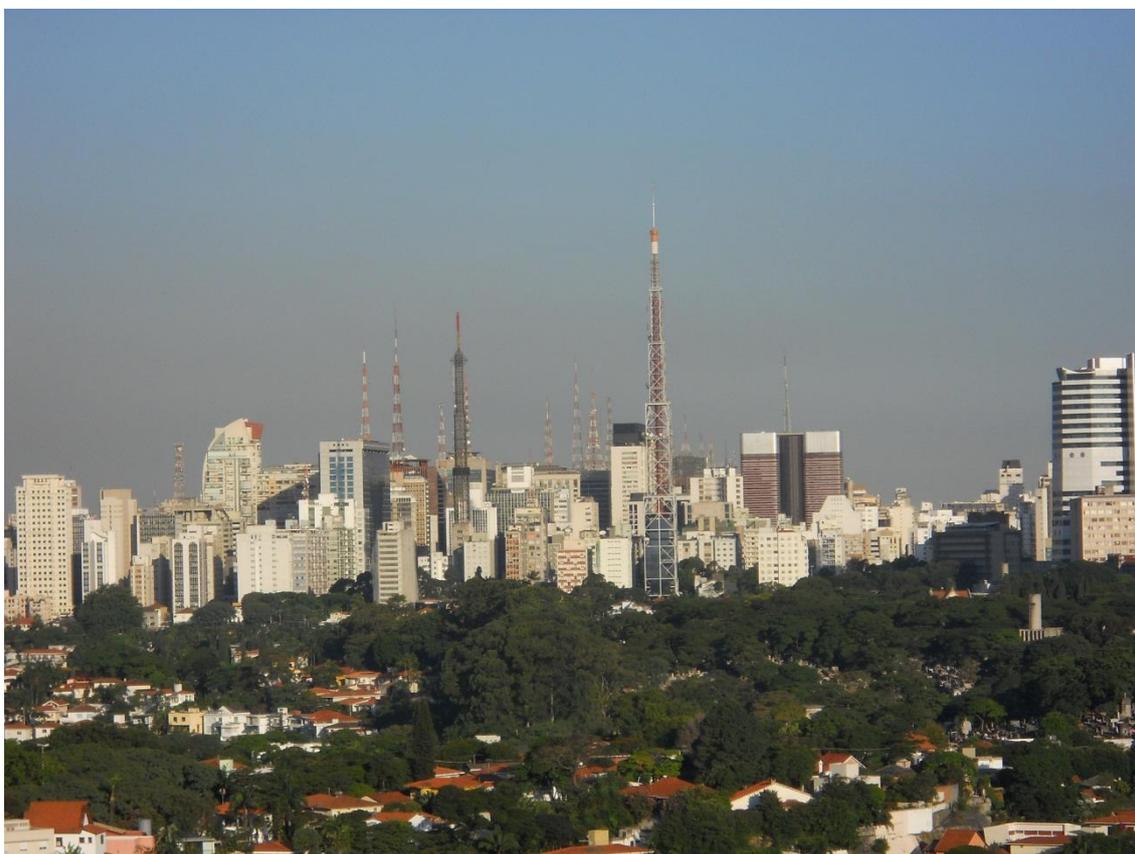


Figura 3. Antenas da Avenida Paulista vistas do bairro do Sumaré.

Mais adiante, instalou-se outra câmera no Instituto de Astronomia e Geofísica (IAG) da USP, do qual também se pôde fazer o monitoramento da região da Avenida Paulista, porém, de um ângulo de visão diferente - foi possível filmar toda a sua extensão. Este local também serviu para suporte dos registros feitos do bairro do Sumaré.

2.2 Mecanismos de gravação de imagens

A gravação de imagens foi efetuada por uma câmera de vigilância comum, com resolução de 60 frames por segundo, isto é, uma imagem a cada 1/60 segundos. Esta câmera possuía, conseqüentemente, uma capacidade de captação de imagens maior do que as convencionais, por causa da rápida formação de uma descarga elétrica.

Todas as informações (imagens e horário da gravação) foram armazenadas em um dispositivo chamado DVR, que possuía uma capacidade de gravação máxima de até 30 horas ininterruptas. Seu mecanismo de funcionamento possibilitava que, ao fim dessas 30 horas, a gravação que se seguia se sobrescrevesse às imagens já gravadas, proporcionando um registro contínuo e autônomo. Caso houvesse algum dado de interesse, a gravação era interrompida manualmente e se analisava o horário de incidência dos raios dentro das últimas 30 horas.

Além do DVR, havia também outro equipamento chamado kiwi, que captava o horário oficial de Greenwich via satélite e o colocava nas imagens. Isso possibilitava que, ao ser registrado um raio no Pico do Jaraguá em um dado momento, por exemplo, se pudessem observar as conseqüências na região de trabalho no mesmo horário.



Figura 4. Equipamento utilizado para a gravação das imagens. À esquerda, uma TV, e à direita, de baixo para cima, videocassete, DVR e kiwi.



Figura 5. Câmera de vigilância utilizada no trabalho de filmagem.

A extração de imagens realizou-se de duas maneiras diferentes: primeiro, utilizou-se uma fita de videocassete comum, gravando-se as faixas de horários onde havia indícios de raios ascendentes; segundo, com o uso de um cartão de memória, que utilizava um comando próprio do DVR para armazenar as descargas de interesse.

2.3 Registros de variação de campo elétrico

Outro meio de verificação de ocorrência de raios e posterior estudo foi o registro de variação rápida de campo elétrico. O equipamento consistia, basicamente, de uma antena que, com o auxílio de um integrador e de um amplificador, emitia um pulso de variação de campo para um computador, que gravava o registro.

Esse equipamento, que se localizava no IAG-USP, registrava variações rápidas de campo elétrico na região. Estas mudanças ocorriam devido às perturbações elétricas causadas por uma descarga próxima - o raio pode ser considerado uma espécie de corrente elétrica que, por sua vez, gera perturbações de campo eletromagnético nos arredores.

O computador utilizado para fazer os registros esteve localizado também no IAG-USP, mas havia a possibilidade de acesso remoto por meio do software TeamViewer, que

proporcionava ao usuário o acesso dos dados do HD de um computador distante por meio de outro computador com o mesmo programa instalado e devidamente conectado à Internet. A pessoa que utilizasse este programa deveria apenas ativar a máquina do IAG no momento do início da tempestade para se iniciar os registros.

A máquina do IAG possuía outro software chamado Datalogger, que realizava as gravações das variações de campo elétrico rápido criando arquivos de registro a cada segundo completo. Com o auxílio de um segundo programa, chamado Dataviewer, o usuário poderia visualizar as perturbações no campo elétrico do local sabendo-se o horário da descida/subida de um raio. Com isso, havia a possibilidade de se determinar a polaridade do raio e refinar a análise, uma vez que seriam descartados todos os de polaridade negativa - que seriam somente descendentes. A imagem 6 ilustra a perturbação de campo elétrico devido a uma descarga e que foi detectada pelo Datalogger.

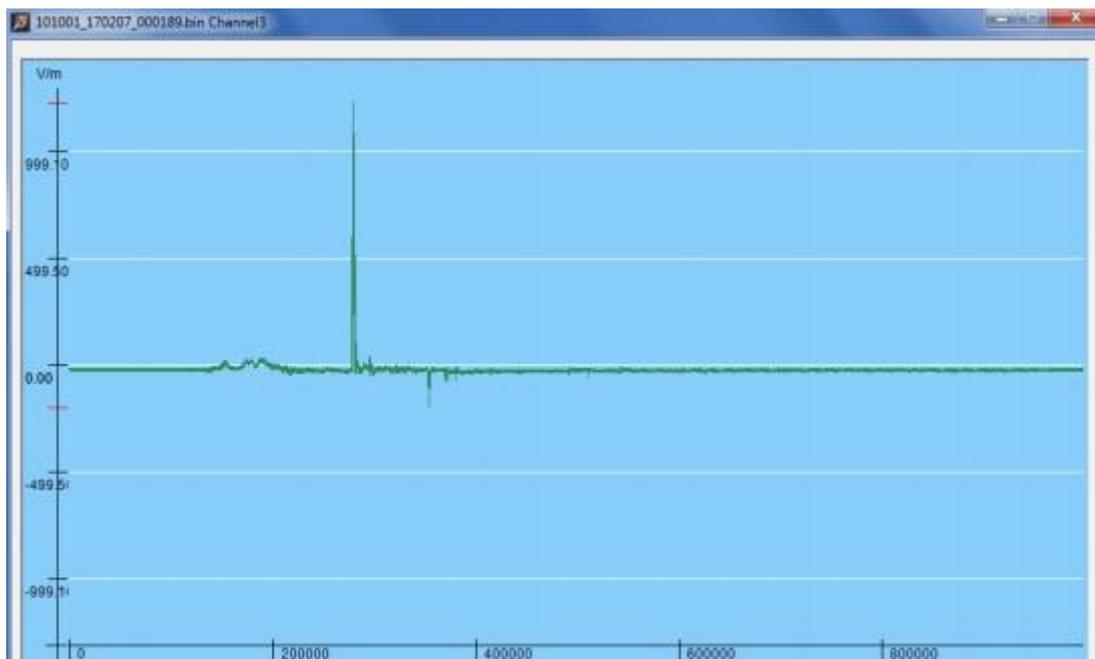


Figura 6. Registro de variação rápida de campo elétrico do software Datalogger. O pico indica a ocorrência de uma descarga.

3. ANÁLISE DE IMAGENS

A outra parte do projeto correspondeu à análise de filmagens realizadas durante campanhas anteriores realizadas no exterior. Esses vídeos foram produzidos com o auxílio de pesquisadores colaboradores do programa e, neste caso, utilizaram-se câmeras rápidas, isto é, câmeras com capacidade de filmagem de até 10000 frames/segundo.

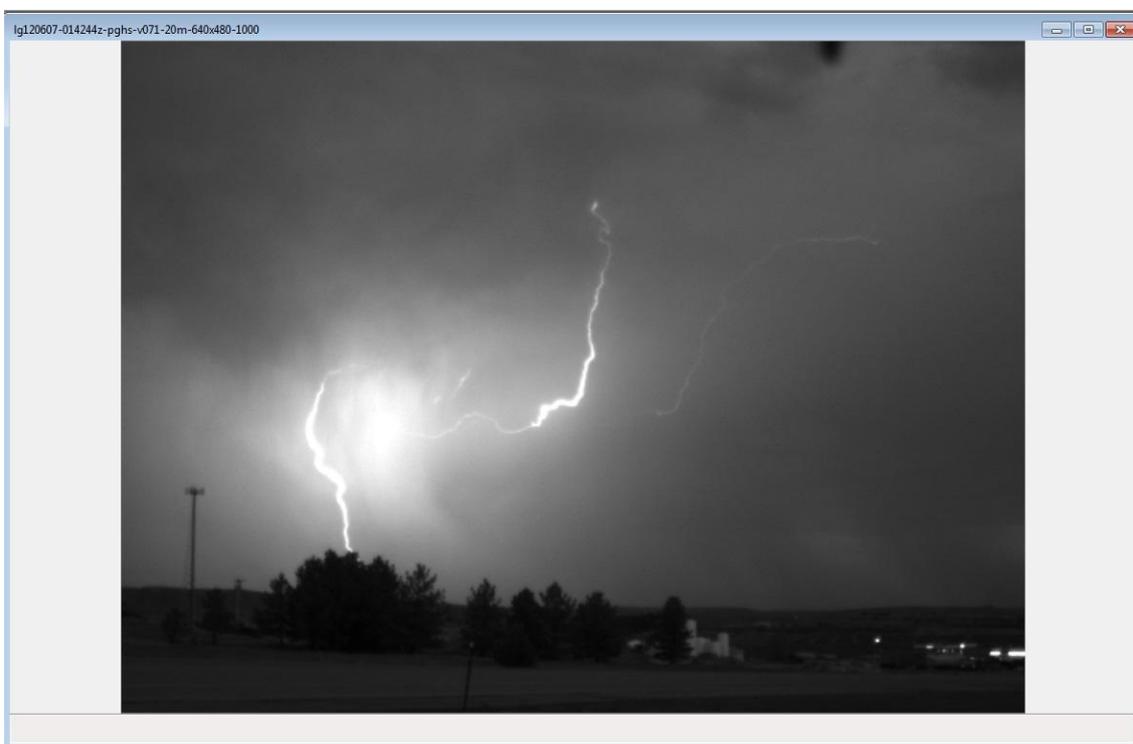


Figura 7. Vídeo produzido por câmera rápida visualizado com o software Phantom.

Foram analisados aproximadamente 40 vídeos, de tamanhos distintos, contendo fragmentos das filmagens integrais e que se sabia conter descargas elétricas de interesse. Os dados extraídos de cada vídeo – com o auxílio de um software chamado Phantom - foram tabelados em uma planilha, contendo informações como instante de incidência da

descarga, número do frame em que a descarga se consumou, tempo de corrente contínua, tipo da descarga, entre outras.

O objetivo desta parte do trabalho foi entender melhor a formação de cada espécie de descarga, bem como características que poderiam ser relacionadas, tais como presença ou não de corrente contínua, número de contatos com o solo, porcentagem de incidência de raios ascendentes e descendentes, etc.

4. OUTROS TRABALHOS

Além do monitoramento efetuado durante todo o ano dos locais já apresentados e da análise de dados de vídeos feitos anteriormente, outra parte trabalhada foi a determinação dos locais das antenas mais altas da cidade de São Paulo.

O objetivo deste trabalho era a localização de pontos suscetíveis à incidência de raios por serem pontos de menor distância das nuvens de chuva. Além disso, na posterior análise das imagens feitas em São Paulo, seria necessário identificar os locais filmados para se obter uma localização mais exata da ocorrência da descarga.

Junto com a localização geográfica destes lugares com o auxílio do software Google Earth, também se determinaram as altitudes destes locais, bem como a altura de cada construção, com o auxílio deste mesmo programa - este possui um módulo 3D que reconstrói graficamente as principais construções da cidade.

Por fim, com a instalação de outra câmera no IAG-USP, fez-se a identificação das torres filmadas deste local, com o auxílio de binóculos e do aplicativo Google StreetView.

5. RESULTADOS

Durante o monitoramento realizado entre os meses de agosto de 2012 e julho de 2013 na cidade de São Paulo, foram registrados 57 raios ascendentes. Dentre esses, 4 foram filmados na região da Avenida Paulista e Terraço Itália.

Os primeiros raios foram registrados na noite do dia 29 de dezembro de 2012. Três descargas foram filmadas durante uma tempestade e as imagens seguintes ilustram cada uma delas.



Figura 8. Três descargas simultâneas, sendo duas delas RA, filmadas em uma tempestade durante a noite do dia 29/12/2012.



Figura 9. Intensificação de um dos RA da imagem anterior.



Figura 10. Terceiro RA filmado na noite do dia 29/12/2012.

O quarto raio ascendente foi registrado na noite do dia 09 de março de 2013. As imagens abaixo ilustram a ocorrência.



Figura 11. RA filmado em 09/03/2013.



Figura 12. Outra imagem do RA de 09/03/2013.

Destas quatro descargas, duas partiram da antena da Rede Bandeirantes, localizada no início da Avenida Doutor Arnaldo e que possui a maior altura entre as antenas localizadas na cidade de São Paulo.

Por sua vez, na análise dos vídeos das campanhas anteriores, de 50 descargas registradas que fizeram a conexão solo-nuvem, apenas uma foi ascendente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A cidade de São Paulo apresentou uma intensa atividade de descargas durante o período de um ano. O Pico do Jaraguá, por exemplo, foi foco, somente no mês de outubro, de 22 raios ascendentes, que é a média anual de registros do Empire State Building em Nova York (Estados Unidos). No entanto, o motivo de tamanha discrepância e os fatores que influenciam a ocorrência de raios continua sendo objeto de estudo.

Comparando-se a razão (raios ascendentes/raios totais) para os vídeos feitos anteriormente, pode-se confirmar a baixa incidência desse tipo de descarga - no caso, apenas 2% -, com possibilidade de que este número seja menor ainda. Devido a esta baixa incidência e conseqüente difícil detecção, o estudo de raios ascendentes apresenta-se ainda em seu início no país.

Alguns fatores colaboram para que o estudo de raios ascendentes seja realizado no Brasil. Em primeiro lugar, a característica de sair de estruturas construídas pelo homem - em sua grande maioria - para as nuvens: a intensidade de carga concentrada nas partes altas desses locais e a consequente passagem de corrente são mais altas nos RA do que nas descargas nuvem-solo. Em segundo lugar, a grande atividade de raios presente no país: o número de descargas elétricas registradas é um dos mais elevados do planeta, e isso é um fator preponderante para que o número de raios ascendentes também seja alto, se comparado com a incidência de raios do mesmo tipo em outros locais.

Essas características incentivam o estudo desses impactos, tanto com o objetivo de encontrar meios para a proteção das estruturas envolvidas e, por sua vez, economia de recursos destinados aos seus reparos pelas intempéries, como pela maior facilidade de trabalho em relação aos outros países, justificado pelo maior número de ocorrências.

7. BIBLIOGRAFIA

ALISSON, E. Pico do Jaraguá registra mais raios ascendentes do que a média mundial. **Agência FAPESP**. 04 de dezembro de 2012. Disponível em <<http://agencia.fapesp.br/16564>>. Acesso em 08 julho 2013.

PINTO JR., O.; PINTO, I. R. C. A.; SABA, M. M. F.; NACCARATO, K. P. Cloud-to-ground Lightning Observations in Brazil. **Lightning: Principles, Instruments and Applications**, p. 209-229, 2009.

SABA, M. M. F.; SCHUMANN, C.; ALVES, J.; CAMPOS, D. R.; WARNER, T. A.; ALBRECHT, R.; MORALES, C. A. Upward lightning in Brazil – First Results. In. INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDING AND EARTHING & 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PHYSICS AND EFFECTS, 2012, Bonito, Brasil.

SABA, M. M. F. Física dos relâmpagos. São José dos Campos: INPE, 2011. 208 transparências. DVD-ROM.

SCHUMANN, C. **Caracterização dos raios positivos através de câmeras de alta velocidade e sensores de campo elétrico.** 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.