

Evandro Moimaz Anselmo

Morfologia das tempestades elétricas na América do Sul

São Paulo - SP

2014

Evandro Moimaz Anselmo

Morfologia das tempestades elétricas na América do Sul

Tese ao departamento de Ciências Atmosféricas, realizada como pré-requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador:
Prof. Dr. Carlos Augusto Morales Rodriguez

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

São Paulo - SP

2014

AGRADECIMENTOS

RESUMO

Resumo

Palavras-chave: relâmpagos, tempestades, monitoramento.

ABSTRACT

Abstract

Key-words: lightning, storms, tracking.

LISTA DE FIGURAS

1	Observações do TRMM sobre a América do Sul	16
---	--	----

LISTA DE TABELAS

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1	METODOLOGIA	11
1.1	O SATÉLITE TRMM	12
1.1.1	Radar de Precipitação	12
1.1.2	Imageador de relâmpagos	12
1.1.3	Radiômetro no visível e infravermelho	13
1.1.4	Radiômetro de microondas	13
1.2	FONTE DE DADOS	13
1.3	RAIOS COM DIFERENTES TAXAS DE DESCARGAS DE RETORNO .	14
1.4	IDENTIFICAÇÃO DAS TEMPESTADES ELÉTRICAS	14
1.5	A TAXA DE RAIOS POR TEMPESTADE ELÉTRICA	15
1.6	DENSIDADES ESPACIAIS DE RAIOS E TEMPESTADES ELÉTRICAS	15
1.7	MORFOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO	17
	REFERÊNCIAS	18

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

JAXA *Japan Aerospace Exploration Agency*

LIS *Lightning Imaging Sensor*

NASA *National Aeronautics and Space Administration*

PR *Precipitation Radar*

TMI *TRMM Microwave Imager*

TRMM *Tropical Rainfall Measuring Mission*

VIRS *Visible and InfraRed Scanner*

LISTA DE SÍMBOLOS

Z_e *Fator de refletividade corrigida por atenuação, produto TRMM 2A25*

FT *Taxa de raios por tempo [raios minuto⁻¹]*

FTA *Taxa de raios por tempo por área [raios dia⁻¹ km⁻²]*

1 METODOLOGIA

Consiste fundamentalmente na construção de um subconjunto de dados provindos das observações dos sensores abordo do satélite TRMM, que estiveram em orbita planetária entre 1998 e 2011.

As informações dos diferentes sensores foram combinadas de maneira à identificar-se sistemas denominados como Tempestades Elétricas.

- Orbital TRMM LIS, VIRS (1B01), and PR (2A25) data from 1998-2011.
- NCEP RII reanalysis from 1998-2011: geopotential height and temperature in 17 pressure levels.
- Region over South America – SA: 40S-10N and 90-30W.
- 68,230 TRMM orbits and 154,189 thunderstorms found, only 96,281 thunderstorm had a least one valid PR profile.
- Thunderstorms have been definite as clouds with brightness temperature below 258 K in the 1B01 10.8 μm channel and had at least one LIS flash [Morales and Anagnostou, 2003]¹.
- 3D precipitation structure were studied using Contour Frequency of PR reflectivity by Altitude and by Temperature Diagrams.

Para melhor entender as implicações que envolvem a construção de uma base de dados de sistemas individualmente a partir das observações do TRMM, inicialmente descreve-se algumas das principais características operacionais do satélite TRMM.

¹Morales, C. A., and E. N. Anagnostou, Extending the capabilities of high-frequency rainfall estimation from geostationary-based satellite infrared via a network of long-range lightning observations, J. Hydrometeor, 4, 141–159, 2003.

1.1 O SATÉLITE TRMM

O satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) faz parte de uma missão conjunta entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration* - EUA) e a JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) (SIMPSON et al., 1988). Os instrumentos a bordo do TRMM são; radar de precipitação (PR), radiômetro de microondas (TMI), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sistema de energia radiante da terra e das nuvens (CERES) e sensor para imageamento de relâmpagos (LIS) (KUMMEROW et al., 1998).

Esse satélite possui uma órbita de aproximadamente 320 Km de altura e inclinação de 30°-35° para que possa visitar uma mesma região duas vezes ao dia, em horários distintos, sobre a região tropical do planeta Terra (SIMPSON et al., 1988).

1.1.1 Radar de Precipitação

O PR (*Precipitation Radar*) é um radar que opera na frequência de 13,8 GHz e possui uma resolução horizontal entre 4,3-5 km, 250 m de resolução vertical e uma varredura 215 km. Uma de suas características mais importantes é a capacidade para fornecer a estrutura tridimensional dos hidrometeoros de nuvens, desde a superfície até uma altura de 20 km (KUMMEROW et al., 1998). Para esta pesquisa serão utilizados os dados 2A25 que apresentam o fator de refletividade do radar corrigido por atenuação da chuva (NASA, 2009).

1.1.2 Imageador de relâmpagos

O LIS (*Lightning Imaging Sensor*) é um sensor óptico capaz de detectar e localizar relâmpagos em tempestades individuais, analisando a emissão óptica resultante da dissociação, excitação e recombinação dos constituintes atmosféricos, em resposta a ocorrência de descargas atmosféricas. Este sensor CCD², que trabalha no comprimento de onda de 772 nm, identifica descargas nuvem-solo e intranuvens, tanto no período diurno quanto noturno, a partir da amostragem de 500 imagens por segundo. Combinado com a velocidade do satélite (11 km/s) e abertura da CCD, o sensor LIS possui um campo de visão que permite a observação de um ponto na Terra por 80 a 90 s, tempo suficiente para a estimativa da taxa de raios de uma tempestade no momento da observação (CHRISTIAN et al., 1992; NASDA, 2001).

²Um dos dispositivos eletrônicos utilizados para registro de imagens em câmeras digitais.

1.1.3 Radiômetro no visível e infravermelho

O VIRS (*Visible and InfraRed Scanner*) é um radiômetro passivo que realiza medidas de radiância em 5 bandas espectrais, com comprimentos de onda de 0,63 μm , 1,61 μm , 3,75 μm , 10,8 μm e 12 μm . Sua resolução horizontal atinge 2,11 km no nadir e 720 km de varredura (NASDA, 2001).

Nesta pesquisa, utilizamos apenas o canal 10,8 μm , para estimativa da temperatura de topo de nuvens.

1.1.4 Radiômetro de microondas

O TMI (*TRMM Microwave Imager*) é um radiômetro passivo multicanal, 10,65 GHz, 19,35 GHz, 21,3 GHz, 37 GHz, e 85,5 GHz, com dupla polarização. Possui uma varredura cônica combinada com movimento de rotação de sua antena, a qual observa regiões elipsoidais quando projetadas na superfície (KUMMEROW et al., 1998). Sua resolução horizontal varia entre 6-50 km, dependendo do ângulo entre o feixe e o nadir, e varredura de 760 km (NASDA, 2001).

1.2 FONTE DE DADOS

A fonte de dados foi obtida utilizando a infra-estrutura de rede do IAG-USP, aonde os dados foram transferidos a partir do servidor de FTP da NASA (<ftp://disc2.nascom.nasa.gov/ftp/data>).

Os arquivos orbitais do TRMM na versão 7, produtos 1B01, 2A25 e 1B11 foram baixados para o período entre 1998 e 2011. Nesta etapa um conjunto de *scripts* foi desenvolvido para download e verificação de integridade dos dados baixados. No total o volume de dados atingiu 28 TB.

Os dados do LIS de *flash*, *group*, *events* e *view time* foram concedidos pela pesquisadora Albrecht (2010), quem já possuía essa base de dados no Brasil.

Como as observações globais do PR, LIS, VIRS e TMI entre 1998-2011 representam um volume de aproximadamente 30 TB, a região de estudo foi limitada entre 10N-40S e 91W-30W. Portanto foi feito um recorte nos dados orbitais apenas para esta região que cobre toda a América do Sul, o que reduziu bastante o volume de dados a serem utilizados e tornou o processamento possível perante a infraestrutura computacional do IAG-USP.

1.3 RAIOS COM DIFERENTES TAXAS DE DESCARGAS DE RETORNO

O estudo da Morfologia das tempestades foi iniciado pela construção de um algoritmo que fez a extração de perfis verticais do fator de refletividade corrigida por atenuação (Z_c), produto 2A25, nos pontos de grade onde ocorreram descargas atmosféricas observadas pelo LIS.

Após a extração dos perfis verticais de Z_e orientada pela ocorrência de raios, foi constituída uma base de dados com as seguintes características:

- Para cada raio observado pelo LIS existia um perfil vertical de refletividade do radar.
- Além dos 80 níveis verticais de cada perfil de refletividade do radar, temos também a classificação do tipo de chuva identificada pelo produto TRMM 2A25 (convectiva, estratiforme, etc).
- Cada raio (*flash*) possui o seu respectivo número de eventos (pixels da CCD iluminados), número de grupo (grupos de *pixels* iluminados na CCD que compõem o raio), e tempo de duração em milissegundos.

A morfologia da estrutura 3D da precipitação observada pelo PR foi estudada para diferentes classes de perfis separados conforme o número de descargas de retorno (*groups*) de cada raio (*flash*).

Nesta etapa foi investigada se a taxa de descargas de retorno representa maior definição de precipitação em altitude principalmente na região de fase mista, entre 5 e 7 km de altitude.

1.4 IDENTIFICAÇÃO DAS TEMPESTADES ELÉTRICAS

Após uma análise ponto a ponto, buscando associar cada raio com um perfil de refletividade do PR, partimos para uma análise de grupo, buscando identificar quais as tempestades elétricas que representam maior intensidade convectiva.

Técnicas numéricas de mudança de eixo ordenados foram utilizadas para projetar as observações orbitais do VIRS, PR e LIS em uma grade regular com $0,05^\circ$ de resolução, a qual foi utilizada para verificar regiões com medidas coincidentes entre os sensores.

A equação de Planck foi aplicada nos dados de radiância espectral do produto 1B01, canal 4 do VIRS ($10,8 \mu\text{m}$), e áreas com temperaturas de corpo negro em infravermelho

mais frias do que 258 K delimitaram os *clusters* de nuvens. Após, o algoritmo verifica se houve raios detectados pelo LIS na mesma área da nuvem. Havendo pelo menos um raio, o sistema era classificado como uma tempestade elétrica.

Desta forma, cada tempestade elétrica foi armazenada na forma de um arquivo HDF contendo medidas coincidentes do VIRS, LIS e PR. Os arquivos de tempestades elétricas são compostos pelas seguintes informações contidas nos produtos do TRMM:

- VIRS: 1B01 – *latitude, longitude, Radiance channel 4* (10,8 μm)
- PR: 2A25 – *latitude, longitude, Corrected Z-factor, Rain Type*
- LIS: *latitude and longitude of, flashes, groups, events and View Time*

Foram identificadas 154,189 tempestades elétrica e devido a varredura do PR ser menor do que a do VIRS, apenas 96,281 tiveram pelo menos um perfil de chuva válido observado pelo radar a bordo do satélite.

1.5 A TAXA DE RAIOS POR TEMPESTADE ELÉTRICA

A taxa de raios no tempo (FT), foi definida como a razão entre o número de flashes (N_{fl}) e o tempo médio (VT_m) em que o sensor LIS observou a tempestade elétrica, da mesma forma como foi calcula para as *precipitation features* (CECIL et al., 2005; NESBITT et al., 2000).

A taxa de raios no tempo também foi normalizada pela área da tempestade elétrica (A_t), obtendo também o índice da taxa de raios no tempo por área (FTA).

$$FT = \frac{N_{fl}}{VT_m} 60 \text{ [raios minuto}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

$$FTA = \frac{N_{fl}}{VT_m A_t} 86400 \text{ [raios dia}^{-1} \text{ km}^{-2}\text{]} \quad (2)$$

Para cada sistema foram calculados os dois índices que podem estar associados com a severidade de tempo, o FT e FTA, conforme mostra as equações 1 e 2 .

1.6 DENSIDADES ESPACIAIS DE RAIOS E TEMPESTADES ELÉTRICAS

Neste trabalho, buscamos identificar espacialmente as regiões mais eficientes nos processos de eletrificação, as quais possuem pouca densidade de sistemas porém alta densi-

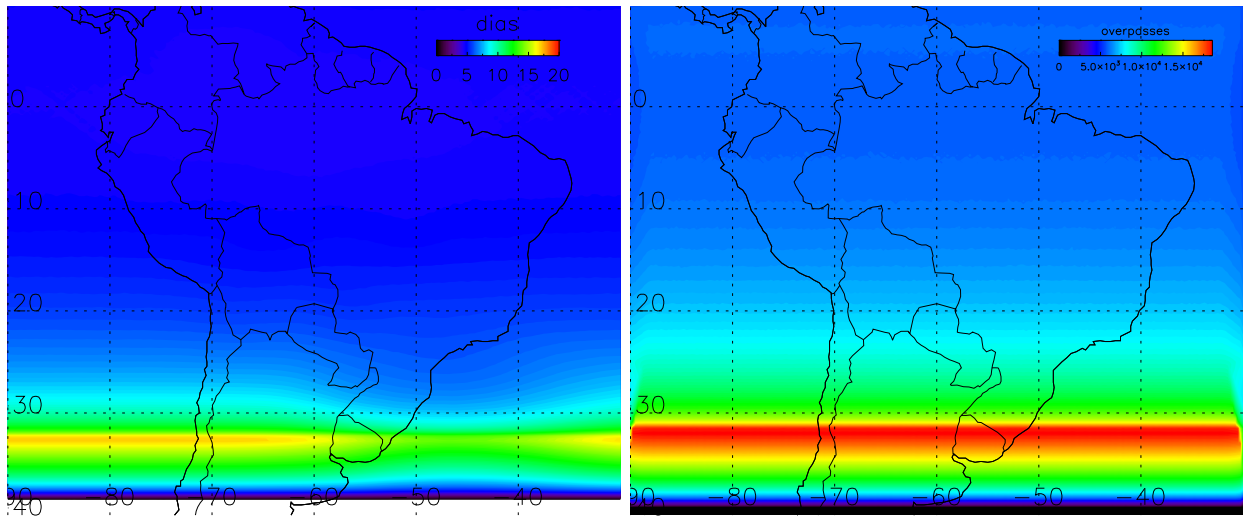
dade de raios em comparação com as demais regiões da América do Sul.

O que se torna fundamental na construção destes mapas é considerar quantas vezes, ou qual o tempo em que o satélite ficou observando cada parte da região de estudo. Qualquer análise de densidade espacial com dados do TRMM que não considere o número de passagens ou tempo em que o sensor observou a região projetada na superfície, será tendenciosa.

Mesmo que o satélite TRMM visite o mesmo lugar do globo duas vezes por dia em função de sua órbita inclinada 35° e velocidade, entre 1998 e 2011, o satélite passou 10,000 vezes mais sobre a região extra-tropical do que na região tropical, como mostra a figura 1b, com todas as órbitas e as varreduras do VIRS projetadas e acumuladas sobre a América do Sul.

Fazendo o acumulado do tempo de visada do LIS na superfície, como mostra a figura 1a, observa-se que em 14 anos o LIS passou 10 dias a mais na latitude -34°S do que em 0° .

Portanto, na figura 1, estão representadas duas grades regulares com $0,25^\circ$ de resolução. A grade (\mathbf{VT}_{lis}) do tempo total da visada do sensor LIS sobre a superfície e a grade (\mathbf{VT}_{virs}), do número de vezes que o satélite passou conforme a o tamanho da varredura do radiômetro VIRS na superfície.



(a) Tempo de visada do LIS ($0,25^\circ$). Valores convertidos em dias de observação.

(b) Número de passagens do VIRS ($0,25^\circ$).

Figura 1: Observações do TRMM sobre a América do Sul

$$DE_r = \frac{N_{fl}}{\mathbf{VT}_{lis} \mathbf{A}_g} 31557600 [\text{raios ano}^{-1} \text{ km}^{-2}] \quad (3)$$

$$DE_{te} = \frac{P_{virs}}{VT_{virs}A_g} 31557600 \text{ [sistemas ano}^{-1} \text{ km}^{-2}] \quad (4)$$

1.7 MORFOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO

descrever CFAD CCFD CFTD

A morfologia da precipitação observada pelo PR foi estudada por meio de diagramas de contorno de frequência de ocorrência por altitude, os CFADs, utilizando os perfis de refletividade efetiva (Z_{ef}) do produto 2A25.

Conforme descreve (YUTER; Houze Jr., 1995), primeiramente obtivemos histogramas bidimensionais (hist2D) da densidade de probabilidade de ocorrência de Z_{ef} por nível de altitude com tamanho de bin de 1 dBZ para cada 250 m de altitude. Cada nível de altitude do hist2D foi normalizado pelo total de ocorrência de refletividade ($N_{Z_{ef}}$) do respectivo nível.

Para cada diagrama foi calculado o percentual (%) de perfis classificados como convectivo, estratiforme e outros, (P) o número de perfis que compõe o CFAD, (L) o número de ocorrência de refletividade do nível de máxima ocorrência e (H) a altitude do nível de máxima ocorrência. Ao plotar os contornos dos CFADs, os níveis de altitude que representaram menos do que 10% de L foram desconsiderados.

Com base nos dados de Reanálises rII do NCEP, o eixo de altitude dos perfis do radar foram projetados em um eixo de temperatura conforme os campos de altura geopotencial e temperatura, por nível de pressão.

Desta forma desenvolvemos o estudo das frequências de ocorrência de refletividade por nível de temperatura, construindo diagramas que foram denominados como Diagramas de Contorno de Frequência por Temperatura (CFTD) e Diagramas de Contorno de Frequência Cumulativa por Temperatura (CCFTD).

REFERÊNCIAS

ALBRECHT, R. I. **Comunicação Pessoal**. São Paulo: [s.n.], 2010.

CECIL, D.; GOODMAN, S.; BOCCIPPIO, D.; ZIPSER, E.; NESBITT, S. Three years of trmm precipitation features. part i: Radar, radiometric, and lightning characteristics. **Mon. Wea. Rev.**, v. 133, p. 543–566, 2005.

CHRISTIAN, H. J.; RICHARD, J. B.; J., G. S. **Lightning Imaging Sensor (LIS) for the Earth Observing System**. Alabama, 1992. 193 p. NASA Technical Memorandum TM-4350.

DURKEE, J. D.; MOTE, T. L. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. **International Journal of Climatology**, Wiley Online Library, v. 30, n. 3, p. 418–431, 2009. ISSN 08998418. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1893/abstract>>.

FABRY, F.; ZAWADZKI, I. Long-Term Radar Observations of the Melting Layer of Precipitation and Their Interpretation. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 52, n. 7, p. 838–851, 1995. ISSN 0022-4928.

KUMMEROW, C.; BARNES, W.; KOZU, T.; SHIUE, J.; SIMPSON, J. The tropical rainfall measuring mission (trmm) sensor package. **J. Atmos. Oceanic Technol.**, v. 15, p. 809–817, 1998.

LIU, C.; ZIPSER, E. J.; CECIL, D. J.; NESBITT, S. W.; SHERWOOD, S. A cloud and precipitation feature database from nine years of trmm observations. **J. Appl. Meteor. Climatol.**, v. 47, p. 2712–2728, 2008.

NASA. **TRMM Product Level 2A Precipitation Radar (PR) Rainfall Rate and Profile**. 2009. Disponível em: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation-/documentation/TRMM_README/TRMM_2A25_readme.shtml>. Acesso em: 28 jan. 2010.

NASDA. **TRMM Data Users Handbook**. National Space Development Agency of Japan: [s.n.], 2001.

NESBITT, S. W.; ZIPSER, E. J.; CECIL, D. J. A Census of Precipitation Features in the Tropics Using TRMM: Radar, Ice Scattering, and Lightning Observations. **Journal of Climate**, v. 13, n. 23, p. 4087–4106, 2000. ISSN 08948755.

PETERSEN, W. A.; RUTLEDGE, S. A. On the relationship between cloud-to-ground lightning and convective rainfall. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D12, p. 14025–14040, 1998.

RASMUSSEN, K. L.; Houze Jr., R. A. Orographic Convection in Subtropical South America as Seen by the TRMM Satellite. **Monthly Weather Review**, v. 139, n. 8, p.

2399–2420, 2011. ISSN 00270644. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/MWR-D-10-05006.1>>.

SAUNDERS, C.; AVILA, E.; PECK, S.; CASTELLANO, N.; VARELA, G. A. A laboratory study of the effects of rime ice accretion and heating on charge transfer during ice crystal/graupel collisions. **Atmospheric Research**, v. 51, p. 99–117, mar. 1999.

SIMPSON, J.; ADLER, R.; NORTH, G. A proposed tropical rainfall measuring mission (trmm) satellite. **J. Atmos. Oceanic Technol.**, v. 69, p. 278–295, 1988.

TAKAHASHI, T. Rimming electrification as a charging generation mechanism in thunderstorms. **J. Atmos. Sci.**, v. 35, p. 1536–1548, 1978.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, n. D8, p. 9591, 1987. ISSN 0148-0227.

YUTER, S. E.; Houze Jr., R. A. Three-dimensional kinematic and microphysical evolution of florida cumulonimbus. part ii: Frequency distribution of vertical velocity, reflectivity, and differential reflectivity. **J. Appl. Meteor.**, v. 123, p. 1941–1963, 1995.