



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-12991-PRE/8268**

## **SISTEMA DE DETECÇÃO DE RAIOS DO SUL DO BRASIL**

Fábio Marcelo Breunig\*

\*Bolsista UFSM

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pelo  
Dr. Osmar Pinto Junior

INPE  
São José dos Campos  
2005



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## **SISTEMA DE DETECÇÃO DE RAIOS DO SUL DO BRASIL**

### **RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**PROCESSO Nº 107.623/2003-0**

Fábio Marcelo Breunig (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)  
E-mail: [fabio-breunig@gmail.com](mailto:fabio-breunig@gmail.com)

Dr. Osmar Pinto Junior (Orientador, DGE/CEA/INPE – MCT)  
E-mail: [osmar@dge.inpe.br](mailto:osmar@dge.inpe.br)

Santa Maria – Maio de 2005

## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

### **Bolsista**

Fábio Marcelo Breunig  
Acadêmico do curso de Geografia e do curso de Física  
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

### **Processo:**

CNPq N°. 107.623/2003-0

### **Orientador**

Dr. Osmar Pinto Junior  
Grupo de Eletricidade Atmosférica  
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT  
Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas – CEA/INPE – MCT  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

### **Execução do projeto**

Laboratório de Eletricidade Atmosférica  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE – MCT  
Observatório Espacial Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT

### **Colaboradores**

Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE – MCT  
Dr. João Paulo Minussi – DESP/CT/UFSM  
Dr. Kazuo Makita – Tokyo University  
Dr. Tasuo Torii – Japan Nuclear Cycle Development Institute  
Acadêmico Vandoir Bourscheidt - Cursos: Geografia e Meteorologia – UFSM

## AGRADECIMENTOS

Ao finalizar mais um ano de atividades de Iniciação Científica, muitas são as pessoas a quem devo sinceros agradecimentos. Destaco o Dr. Osmar Pinto Junior, pela oportunidade de sua orientação, o Dr. João Paulo Minussi, sempre com sugestões oportunas, e especialmente ao Dr. Nelson Jorge Schuch, pelo auxílio no processo de crescimento e aperfeiçoamento. Não esquecendo do colega Vandoir Bourscheidt. Agradeço ao Dr. Kazuo Makita e ao Dr. Tatsuo Torii pelas explicações e contribuições oferecidas.

Gostaria de fazer referencia ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq/MCT pelo apoio oferecido, através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/INPE – CNPq/MCT, que foi de extrema importância para a execução dos trabalhos, mostrando a relevância dos programas de iniciação científica. Não esquecendo de mencionar o apoio do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT, o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e a Universidade Federal de Santa Maria – UFSM pelo apoio institucional propiciado, sem o qual as atividades desenvolvidas não passariam de um projeto. Agradeço a Direção do Centro de Ciências Naturais e Exatas da Universidade Federal de Santa Maria – CCNE-UFSM pelo apoio financeiro oferecido, que possibilitou a publicação e participação em diversos eventos de relevância internacional. Por fim agradeço a Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade que me é oferecida de cursar cursos de alta qualificação e pela assistência estudantil que vem prestando, sem a qual minha permanência não seria viável.

## RESUMO

Dentre os fenômenos naturais, os relâmpagos ocupam um lugar especial, pois são responsáveis por crenças metafísicas e por um amplo conjunto de conseqüências que afetam o homem, suas atividades e a natureza. Com o uso de dados dos sensores *lightning Imaging Sensor* – LIS e *Optical Transient Detector* – OTD, foram elaborados uma série de trabalhos. O processamento dos dados foi feito utilizando aplicativos específicos e cálculos estatísticos. Uma abordagem dos instrumentos instalados no Observatório Espacial do Sul, detector de relâmpagos, de campo elétrico e de raios cósmicos, mostra seus princípios de funcionamento e soluções. Caracterizando os estudos de eletricidade atmosférica na região Central do Rio Grande do Sul. As características dos relâmpagos em função de parâmetros geográficos são avaliadas. Não encontramos uma relação entre o número de relâmpagos e o aumento da altitude. Verificamos uma concordância entre as temperaturas e a densidade de relâmpagos. O mesmo não foi evidenciado em relação à precipitação. A variação na densidade de descargas atmosféricas considerando o tipo de superfície em que ocorrem foi estudada para o litoral do Rio Grande do Sul. O resultado mostra uma variação, sendo que sob o continente as densidades de relâmpagos são maiores do que na área de transição e oceânica. Em termos sazonais existe uma proporcionalidade. Usando dados de relâmpagos verificamos que é possível monitorar e prever eventos atmosféricos em diferentes escalas. A formação de Fulguritos no Rio Grande do Sul é abordada. O resultado mostra que os locais mais propícios para a formação e localização dos Fulguritos são o Oeste do Estado e o Litoral. Num estudo sobre o vendaval de 11 de setembro de 2002, utilizamos os dados do *Climatic Diagnostics Center* – CDC, e verificamos que as condições atmosféricas reinantes sobre o Rio Grande do Sul eram favoráveis a ocorrência do fenômeno. Entretanto destacamos as dificuldades de avaliar este vendaval associadas a escala espacial e temporal dos dados. A radiação, tempo e número de eventos de relâmpagos são estudados para Região Sul do Brasil utilizando dados do sensor LIS. Em relação à Rede de Detecção de Raios do Sul do Brasil, que por meio do projeto Sistema de Informações Integrado Baseado no Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas – SIDDEM, vem sendo implementada e passará a detectar os relâmpagos que ocorrem na Região Sul do Brasil com um alto grau de eficiência, estimado em mais de 90%, passará a operar ainda no primeiro semestre de 2005. Com o registro dos primeiros dados, espera-se que no final do segundo semestre corrente, possamos elaborar os primeiros mapas sobre a distribuição dos relâmpagos no Sul do Brasil, baseados em dados de uma rede de sensores de superfície de alta eficiência de detecção. Neste sentido acreditamos que o trabalho realizado tenha atingido seus objetivos, e que novos trabalhos possam ser realizados, considerando o leque de dados que passarão a ser gerados pela Rede de Detecção de Raios do Sul do Brasil.

## SOUTHERN BRAZIL LIGHTNING DETECTION SYSTEM

### ABSTRACT

Among the natural phenomena, lightning are in a special place, because it are responsible for metaphysical faiths and for a wide group of consequences that affect the man, your activities and the nature. Using data of Lightning Sensor Imaging - LIS and Optical Transient Detector - OTD, were elaborated a series of works. The processing of the data was made using specific software and statistic calculations. An approach of the instruments installed on the South Space Observatory, such as lightning detector, electric field and of cosmic rays detectors, is shows your operation beginnings and solutions. One study about atmospheric electricity in the Central region of Rio Grande do Sul was made. The characteristics of the lightning in a function of geographical parameters are appraised. We did not find a relationship between the lightning number and the altitude enhancement. We verified an agreement between the temperatures and the density of flashes. The same not was evidenced in relation to the precipitation. The variation on atmospheric discharges density considering the type of surface was studied for the coast of Rio Grande do Sul. The result shows a variation; over the continent the lightning densities are larger than in the transition area and/or oceanic area. In seasonal terms the proportionality exists. Using lightning data we verified that is possible to monitoring and forecast atmospheric events in different scales. The Fulguritos formation in Rio Grande do Sul is approached. The result shows that the most favorable places for its formation and location is the West and the Coast of the State. In a study about September 11, 2002 thunderstorm, we used Climatic Diagnostic's Center - CDC data, and verified that the conditions atmospheric were favorable when this thunderstorm has occurred. However we detached the difficulties for evaluating this thunderstorm and CDC data. The radiance, time and event number of lightning is studied for South area of Brazil using data from LIS sensor. In relation to Southern Brazil Lightning Detection Network, that result from the Integrated Information System Based on Atmospheric Discharges Detection System - SIDDEM project, has been implemented and it will detect the lightning that happen in the Southern Region of Brazil with a high efficiency, estimated in more than 90%. It will start to operate still in the first semester of 2005. With the registration of the first data, it is waited that in the end of the second semester, we can make the first maps about the lightning distribution in the Southern of Brazil, based on data from a surface network with high detection efficiency. In this sense we believed that the accomplished work has reached your objectives, and that new works can be accomplished, considering the fan of data that it will be recorder by the Southern Brazil Lightning Detection Network.



*“Nenhum problema pode ser resolvido pelo mesmo estado de consciência que o criou. É preciso ir mais longe. Eu penso 99 vezes e nada descubro. Deixo de pensar, mergulho num grande silêncio e a verdade me é revelada”.*

ALBERT EINSTEIN

## SUMARIO

CAPITULO I.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. INTRODUÇÃO.....	13
1.2. JUSTIFICATIVA.....	14
1.3. OBJETIVOS DO PROJETO DE PESQUISA.....	15
1.3.1. Objetivos gerais.....	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
CAPITULO II.....	16
2. METODOLOGIA.....	16
2.1. CONCEPÇÃO DE MÉTODO CIENTIFICO.....	16
2.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
CAPITULO III.....	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1. UM POUCO DE HISTORIA.....	19
3.2. A ATMOSFERA.....	21
3.3. A FORMAÇÃO, TIPOS E CARACTERÍSTICAS DAS NUVENS.....	26
3.4. ELETRIFICAÇÃO DAS NUVENS.....	29
3.4.1. Tempestades.....	29
3.4.2. Teorias de eletrificação das nuvens.....	33
3.5. PARÂMETROS DE ANÁLISE NOS RELÂMPAGOS.....	37
3.5.1. Quantidade de relâmpagos e sua localização.....	37
3.5.2. Multiplicidade.....	38
3.5.3. Corrente de pico da descarga.....	38
3.5.4. Largura de pulso.....	38
3.5.5. Tempo de subida.....	38
3.6. CARACTERÍSTICAS DOS RELÂMPAGOS.....	39
3.6.1. Os relâmpagos Nuvem-Solo – NS.....	40
3.6.1.1. Relâmpagos Nuvem-Solo negativos.....	41
3.6.1.2. Relâmpagos Nuvem-Solo positivos.....	46
3.6.2. Relâmpagos Solo-Nuvem, SN.....	47
3.6.3. Relâmpagos Intra-Nuvem, IN.....	49
3.6.4. Relâmpagos da Nuvem para o Ar, NA.....	50
3.6.5. Relâmpagos Entre-Nuvs, EN.....	50
3.6.6. Relâmpagos da Nuvem para Cima, NC.....	50
3.6.7. Outros tipos de relâmpagos naturais.....	50
3.6.7.1. Relâmpagos com sucessivas interrupções.....	50
3.6.7.2. Relâmpagos em forma de faixa.....	51
3.6.7.3. Relâmpagos esféricos.....	51
3.6.7.4. Relâmpagos bipolares.....	51
3.6.8. Relâmpagos artificiais.....	52
3.7. O TROVÃO.....	53
3.8. FENÔMENOS ELÉTRICOS DE ALTA ATMOSFERA.....	54
3.8.1. Circuito Elétrico Atmosférico Global, CEAG.....	55
3.8.2. Sprites.....	56
3.8.3. Jatos Azuis.....	57
3.8.4. E.L.V.E.S.....	58



3.8.5. Precursores Azuis .....	58
3.9. TÉCNICAS DE MEDIDA .....	58
3.10. SISTEMAS DE DETECÇÃO DE RELÂMPAGOS .....	59
3.10.1. Sensores de superfície .....	59
3.10.1.1. Sobre os métodos de detecção de superfície .....	60
3.10.1.1.1. MDF – Magnetic Direction Finder .....	60
3.10.1.1.2. TOA – Time Of Arrival .....	61
3.10.1.1.3. IMPACT - Improved Accuracy from Combined Technology .....	62
3.10.1.2. Sistemas de detecção e processamento .....	62
3.10.1.2.1. LPATS, Lightning Position And Tracking System .....	63
3.10.1.2.2. ALDF, Advanced Lightning Direction Finder ou IMPACT, Improved Accuracy from Combined technology .....	63
3.10.1.2.3. SAFIR - Surveillance et Alerte Foudre par Interférométrie Radioélectrique .....	64
3.10.2. Métodos de detecção de relâmpagos orbitais .....	64
3.10.2.1. Sensor OLS .....	64
3.10.2.2. Sensor OTD .....	65
3.10.2.3. Sensor LIS .....	65
3.11. CENTRAL DE PROCESSAMENTO .....	66
3.11.1. A central de processamento APA2000 .....	66
3.11.1.1. LP2000, Lightning Processor .....	66
3.11.1.2. NM2000, Network Management .....	66
3.11.1.3. DA2000, Distribution and Archive .....	67
3.11.2. Configurações para o LP2000 .....	67
3.11.2.1. Processamento em tempo real .....	67
3.11.2.2. Reprocessamento .....	67
3.11.2.3. Arquivos e aplicativos para fazer configurações .....	67
3.11.2.3.1. Locate.cfg .....	67
3.11.2.3.2. APA.config .....	68
3.11.2.3.3. Flashcalc.cfg .....	69
3.11.3. Características do sistema .....	69
3.12. SISTEMAS DE DETECÇÃO DE RELÂMPAGOS EXISTENTES NO MUNDO .....	73
3.12.1. NLDN – National Lightning Detection Network .....	73
3.12.2. EUCLID – European Cooperation for Lightning Detection .....	73
3.12.3. JLDN – Japan Lightning Detection Network .....	73
3.12.4. INM – Spanish National Institute of Meteorology lightning location network .....	74
3.12.5. CLDN - Canadian Lightning Detection Network .....	74
3.13. SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE RELÂMPAGOS NO BRASIL .....	74
3.13.1. SLT - Sistema de Localização de Tempestades .....	74
3.13.2. SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná .....	75
3.13.3. BLDN – Brazil Lightning Detection Network .....	75
3.13.4. RINDAT – Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas .....	76
3.14. OS RELÂMPAGOS NO BRASIL .....	76
3.15. O HOMEM E OS RELÂMPAGOS .....	77
3.16. RELÂMPAGOS E O MEIO AMBIENTE .....	79
3.17. MÉTODOS DE PROTEÇÃO .....	80
3.17.1 Métodos de proteção .....	81

3.17.1.1. Método Eletromagnético .....	81
3.17.1.2. Método de Franklin .....	82
3.17.1.3. Método da gaiola de Faraday .....	82
3.19. EFEITO DOS RAIOS CÓSMICOS E TEMPESTADES SOLARES NA ATIVIDADE ELÉTRICA DA ATMOSFÉRA .....	83
CAPITULO IV .....	84
4 RESULTADOS .....	84
4.1. INTRODUÇÃO .....	84
4.2. PARTICIPAÇÃO DE PALESTRAS .....	84
4.3. PARTICIPAÇÃO NA CAMPANHA SPRITE BRASIL .....	85
4.4. PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS .....	86
4.5. FAMILIARIZAÇÃO COM SOFTWARES .....	86
4.6. PRODUÇÃO CIENTÍFICA .....	87
4.6.1. Lightning activity as a function of the geographical characteristics at Rio Grande do Sul - Brazil .....	87
4.6.2. Contrast in atmospheric discharges over land and ocean at Rio Grande do Sul - Brazil .....	91
4.6.3. Uso de informações sobre relâmpagos para o monitoramento e previsão de eventos atmosféricos .....	92
4.6.4. Eletricidade Atmosférica – Sistemas de detecção na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul .....	96
4.6.5. Diferentes tipos de sensores de superfície usados na detecção de relâmpagos ..	96
4.6.6. Sistema de detecção de raios do Sul do Brasil .....	96
4.6.7. Formação de Fulguritos no Rio Grande do Sul .....	97
4.6.8. Relâmpagos: Importância e Aplicações .....	97
4.6.9. Um caso de tempestade em Santa Maria – RS – Brasil .....	98
4.6.10. - Implicações da geomorfologia em um sistema de detecção de relâmpagos de superfície .....	104
4.6.11. Aplicação de recursos do software Surfer® na análise de dados de descargas atmosféricas .....	107
4.7. SOBRE O PROJETO SIDDEM .....	109
CAPITULO V .....	111
5. CONCLUSÕES .....	111
5.1. CONCLUSÕES .....	111
5.2. BIBLIOGRAFIA .....	112
5.3. ANEXOS .....	121
5.3.1. Trabalhos publicados e apresentados .....	121
5.3.2. Trabalhos a serem publicados e apresentados .....	121
5.3.3. Relatórios referentes a Campanha Sprite Brasil .....	122

## I - LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Experimentos realizados por Franklin no século XVIII. ....	19
Figura 2 – A - Comportamento da temperatura em função da altitude. B - Camadas da Atmosfera quanto à concentração de íons, condutividade e origens dos íons e elétrons. ....	23
Figura 3 – Mudanças nas nuvens em função das estações do ano. ....	28
Figura 4 – Efeitos da ascensão do ar. ....	30
Figura 5 – A - Estágios de uma tempestade unicelular ....	32
Figura 6 – A - Primeiro modelo de distribuição das cargas dentro das nuvens. B - Campo elétrico formado na atmosfera ao redor da nuvem de tempestade. ....	33
Figura 7 – Modelo de estrutura elétrica e das correntes de ar dentro da nuvem. ....	34
Figura 8 – Modelo tripolar com as camadas de blindagem. ....	35
Figura 9 – A - Diagrama mostrando os elementos meteorológicos e os mecanismos de separação de carga dentro da nuvem. B - Estrutura elétrica multipolar de uma nuvem de tempestade. ....	36
Figura 10 – A - Processo de geração de cargas Indutivo. B - Processo de separação de cargas Termoelétrico–1. C - Processo de separação de cargas Termoelétrico–2. ....	37
Figura 11 – Tipos de relâmpagos. ....	40
Figura 12 – Polaridade dos relâmpagos, da esquerda para a direita: Positivo, negativo e negativo-positivo respectivamente. ....	40
Figura 13 – Variação do número de relâmpagos positivos em função da variação horizontal dos ventos com a altura. ....	41
Figura 14 – Líder escalonado e descargas conectante para um relâmpago NS negativo. ....	42
Figura 15 – Seqüência temporal de eventos de um relâmpago nuvem-solo negativo com duas descargas de retorno. ....	43
Figura 16 – Comportamento da corrente de pico em um relâmpago NS negativo. ....	44
Figura 17 – Radiação para distâncias superiores a 20 km de uma descarga de retorno de um relâmpago NS negativo. ....	44
Figura 18 – Radiação de um relâmpago NS negativo em 3 faixas de frequência, indicando a radiação de diversas etapas: Quebra da rigidez (QR), líder escalonado (LE), descarga de retorno (DR), Descarga K (K), corrente contínua (CC) e Líder contínuo (LC). ....	45
Figura 19 – Relâmpago bifurcado. ....	46
Figura 20 – Radiação típica associada a um relâmpago NS positivo. ....	47
Figura 21 – Relâmpago SN positivo (a) e relâmpagos SN negativo (b). ....	47
Figura 22 – Seqüência temporal de eventos durante um relâmpago SN negativo com uma descarga de retorno. ....	48
Figura 23 – Radiação típica associada a um relâmpago IN. ....	49
Figura 24 – Relâmpago em faixa (A) e relâmpagos tracejado (B). ....	51
Figura 25 – Corrente típica de um relâmpago bipolar. ....	52
Figura 26 – A direita esta representada a corrente contínua de relâmpago induzido. A esquerda (A) Método clássico; (B) Método de altitude. ....	52
Figura 27 – Primeiro relâmpago induzido no Brasil. ....	53
Figura 28 – Duração de um trovão. ....	54
Figura 29 – Estrutura esquemática do CEAG e a esquerda uma estrutura plana. ....	55
Figura 30 – Curva de Carnegie. ....	56
Figura 31 – Estrutura dos <i>sprites</i> . ....	57
Figura 32 – Imagem dos <i>sprites</i> . ....	57
Figura 33 – Jatos azuis, <i>blue jats</i> em preto e branco. ....	57

Figura 34 – Estrutura de um E.L.V.E.S.....	58
Figura 35 – Algoritmo LLP de localização ótima usada pelo MDF. ....	60
Figura 36 – A) Localização por curvas hiperbólicas do método TOA. Solução com duas interseções para uma mesma descarga. B) Solução com duas interseções para uma mesma descarga. ....	61
Figura 37 – Método das interseções circulares.....	62
Figura 38 – Método IMPACT e uma descarga sobre a linha base de dois sensores. ....	62
Figura 39 – Sensor LPATS.....	63
Figura 40 – Sensores IMPACT ou ALDF. ....	64
Figura 41 – Imageador LIS.....	65
Figura 42- Elipse obtida com uma diferentes geometrias .....	70
Figura 43 – Uso da elipse de segurança para a identificação da descarga mais provável (caso #2).....	71
Figura 44 – A) Distribuição dos sensores da NLDN. B) – Distribuição dos sensores que compõe a EUCLID. ....	73
Figura 45 – Sistema de Localização de Tempestades - SLT.....	75
Figura 46 – Rede de detecção do SIMEPAR. ....	75
Figura 47 – Brazil Lightning Detection Network BLDN.....	76
Figura 48 – Distribuição dos sensores da RIMDAT. ....	76
Figura 49 – Mapa isoceráunico do Brasil.....	77
Figura 50 – Mapa de densidade de relâmpagos do Brasil. ....	77
Figura 51 – A) Relevo do Rio Grande do Sul. B) Distribuição média de relâmpagos no Rio Grande do Sul, 1998 a 2003, com base em dados do sensor LIS.....	88
Figura 52 – Distribuição sazonal de relâmpagos no Rio Grande do Sul.....	89
Figura 53 – Média das temperaturas sazonais e anuais.....	90
Figura 54 – Média das precipitações sazonais e anuais.....	90
Figura 55 – A) Distribuição dos relâmpagos em função da latitude e tipo de superfície. B) Média das descargas, para os anos considerados, em função do tipo de superfície considerada. ....	92
Figura – 56 A) Variação sazonal em função do tipo de superfície. B) Variação anual em função do tipo de superfície considerada. ....	92
Figura 57 – Campos Acumulados das Descargas durante ciclogênese local. ....	93
Figura 58 – Valores máximos da média de refletividade e densidade de raios e Ativação de Echotop de 28/02/2000.....	94
Figura 59 – Distribuição Global dos relâmpagos para os anos de 1998 a 2003, com base em dados do sensor LIS.....	94
Figura. 60 – Dados sobre o total anual de relâmpagos para os anos de 1998 a 2003.....	95
Figura 61 – Total diário de precipitação para o dia 11 de Setembro.....	99
Figura 62 - Pressão medida nas estações, para o dia 11 de Setembro.....	99
Figura 63 – A) Temperatura média do ar para o dia 11 de setembro, em superfície. B) Temperatura média para os dia 09 a 13 de setembro, em superfície.....	100
Figura 64 – Temperatura potencial.....	101
Figura 65 – Isotermas as 12h00min UT do dia 11 de setembro de 2002. ....	101
Figura 66 – A) Pressão. B) Umidade relativa. C) Precipitações. D) Cobertura de nuvens. Dados referentes ao dia 11 de Setembro de 2002.....	102
Figura 67 – A) componente U, zonal. B) Componente V, Meridional. ....	103
Figura 68 – A) Imagem do satélite GOES-12 do dia 11/09/2002 às 9:09 LT. B) Adaptação da Carta METAR para as 12 Z.....	103

Figura 69. Localização da área de estudo.....	104
Figura 70. Relevo da Região Sul do Brasil .....	105
Figura 71. Rede de Detecção de Descargas Atmosféricas no Sul do Brasil. ....	106
Figura 72 – Localização das descargas para cada dia (Junho de 2004). ....	108
Figura 73 – Distribuição de Relâmpagos no mês de Junho 2004 (Eventos). ....	108
Figura 74 – Distribuição dos relâmpagos na Região Sul e as características geomorfologias associadas. ....	109..

## II - LISTA DE GRAFICOS – TABELAS - QUADROS

Tabela 1 – Escala Fujita e Escala TORRO.....	18
Tabela 2 – Composição da Atmosfera e porcentagem de cada elemento. ....	21
Quadro 1 - Classificação das nuvens.....	28
Tabela 3 – Classificação das tempestades tornádicas.....	29
Quadro 2 – Parâmetros do sistema e seu significado. ....	69
Tabela 4 – Ângulos de proteção em função da altura .....	82
Tabela 5 – Escala de classificação Fujita e TORRO.....	98

## CAPITULO I

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. INTRODUÇÃO

A existência de relâmpagos na Terra data de antes da presença humana, que possivelmente tem sua origem relacionada aos relâmpagos, que podem ter dado origem às primeiras células vivas, durante a formação da Atmosfera Terrestre. Os estudos abordando os fenômenos elétricos da Atmosfera praticamente só começaram no século XVIII, com o filósofo Norte-americano Benjamin Franklin, 1752. A partir desta data muitas características relacionadas aos fenômenos elétricos da Atmosfera foram descobertas. Com esses avanços o Homem passou a ser menos vulnerável aos efeitos das descargas atmosféricas e outros eventos atmosféricos críticos, como tornados, furações, ciclones, tempestades. Foram criados métodos de proteção contra relâmpagos, os pára-raios, modelos de previsão de tempo, sistemas de alerta, que juntos possibilitaram uma redução das mortes por raio e amenizaram os custos diretos causados por estes fenômenos naturais.

Apesar desta evolução, ainda somos vulneráveis aos efeitos dos fenômenos atmosféricos, tanto em termos econômicos, pois os relâmpagos causam perdas bilhões de dólares por ano no mundo todo, quanto sob a ótica da fragilidade do corpo humano, sendo que são muitas as mortes causadas por raios. Sob o ponto de vista das mortes causadas por fenômenos naturais, as mortes causadas por descargas atmosféricas só são menores das causadas por enchentes. Muitas destas mortes poderiam ser evitadas se houvesse uma maior conscientização da população e menos imprudência por parte dos homens perante a natureza.

A Rede de Detecção de Raios do Sul do Brasil, fruto de um esforço empreendido pelas Concessionárias de Energia Elétrica do Centro-Sul do Brasil, Órgãos de Ensino e Pesquisa e Institutos de Pesquisa e Desenvolvimento. Constitui uma das mais modernas redes de detecção de descargas elétricas do mundo, visto utilizar tecnologia IMPACT e SAFIR. Oficialmente o Sistema foi criado através do projeto SIDDEN – Sistema de Informações Integradas Baseado no Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas. Este sistema divide-se em dois Sistemas: Sistema SAFIR e o Sistema IMPACT. Os benefícios desta Rede estão vinculados ao setor de meteorologia, agricultura, transmissão de energia, pesquisa, segurança e defesa civil, telecomunicações, entre outros.

Como resultado do trabalho desenvolvido ao longo do segundo semestre de 2004 e primeiro semestre de 2005, apresentamos este relatório final, que está dividido em capítulos a fim de facilitar o entendimento e a exposição do conteúdo. Subdividimos este relatório em cinco capítulos: Introdução, Metodologia, Revisão bibliográfica, Resultados e Conclusões. Também incluímos uma série de bibliografias utilizadas, e alguns anexos.

No Capítulo I apresentamos informações gerais sobre os relâmpagos, o projeto

SIDDEM, Sprites, etc. Uma breve justificativa é apresentada, mostrando a importância das pesquisas nesta área de conhecimento. Além disso, os objetivos deste trabalho de Iniciação Científica são apresentados, divididos em objetivos gerais e objetivos específicos.

A metodologia é um dos passos mais importantes nos trabalhos científicos, visto que garante a cientificidade ao estudo, baseado na atual concepção de método científico. O Capítulo II contempla a metodologia utilizada para realizar os trabalhos de Iniciação Científica. São abordados os diferentes métodos de detecção de relâmpagos, os métodos estatísticos e de representação utilizados.

Os parâmetros que são utilizados nas pesquisas de eletricidade atmosférica, as características dos sensores, dados das redes são alguns dos temas abordados no Capítulo III, referente à revisão bibliográfica. As diferentes formas de relacionar os fenômenos elétricos da atmosfera com o Homem e as suas atividades têm sido abordadas com ênfase em diversos estudos, assim, não poderíamos deixar de abordar este tema.

O Capítulo IV trás os resultados obtidos ao longo deste período de estudos. São apresentados os trabalhos produzidos, destacando os resultados relevantes. Entre os temas pesquisados destacamos a relação entre relâmpagos e características geográficas, a utilização de dados de descargas atmosféricas para integrar sistema/modelos de previsão de eventos atmosféricos, contraste na atividade de relâmpagos sobre os oceanos e os continentes, entre uma série de outros resultados obtidos.

No Capítulo V apresentamos as principais conclusões obtidas a partir dos resultados expostos no capítulo anterior. Destacamos ainda uma série de sugestões para pesquisas futuras e perspectivas de trabalhos.

Assim, com a renovação da bolsa de Iniciação Científica para o período de 2004/2005 foi possível finalizar as atividades e gerar resultados sobre fenômenos elétricos no Estado do Rio Grande do Sul e a Região Centro-Sul do Brasil.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A preocupação com o efeito dos relâmpagos têm levado a muitas pesquisas na área da eletricidade atmosférica. Com o avanço tecnológico, especialmente das tecnologias digitais, os efeitos das descargas atmosféricas são cada vez mais expressivos. A vulnerabilidade destas tecnologias incorre na necessidade de novas formas de proteção. Somente no Brasil as perdas anuais causadas pelas descargas atmosféricas superam os R\$ 500 milhões e para o ano de 2030 estudos têm mostrado que este valor pode triplicar. Além das perdas econômicas, cerca de 100 pessoas morrem anualmente no Brasil por causa dos relâmpagos e muitas pessoas sofrem com seqüelas ocasionadas pela incidência de relâmpagos.

Com a implantação desta Rede, poderão ser feitas previsões meteorológicas mais confiáveis, gerar produtos específicos para os diferentes setores. O setor de transmissão de energia será um dos beneficiados, visto que será possível evitar prejuízos, através da redução das interrupções no fornecimento de energia causadas por raios, reduzir o tempo de falta de energia, pré-posicionar equipes de reparo, entre outras aplicações. Em termos meteorológicos as informações sobre descargas atmosféricas são mais uma variável que poderá ser incluída com sucesso nas previsões de tempo, especialmente para prever fenômenos críticos. Outros setores que se beneficiaram são o de telecomunicação, aviação, defesa civil, militar, agricultura, pesquisas, entre outros.

Com todas as possíveis aplicações acima citadas, os estudos de eletricidade atmosférica têm adquirido maior relevância nas últimas décadas, tanto no Brasil como no

mundo. Como no Estado do Rio Grande do Sul as pesquisas nesta área são bastante restritas, nossos trabalhos de Iniciação Científica assumem relevância. De forma a aproveitar as instalações do Observatório Espacial Sul – OES, no município de São Martinho da Serra, e do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE, em Santa Maria, dispomos de dados de campo elétrico, incidência de raios cósmicos, relâmpagos e outros, que podem ser utilizados de maneira combinada com dados do LIS e da RINDAT.

Destacamos que na Região Sul do Brasil se concentram grande parte dos eventos atmosféricos críticos, como os vendavais e tempestades intensas, que atualmente ainda são pouco conhecidos e previsíveis. Novamente percebemos a necessidade destes trabalhos com a Rede de Detecção de Raios do Sul do Brasil, que pode ser utilizada para acompanhar a evolução de tempestades na Argentina, Uruguai e Paraguai, onde muitos destes eventos críticos são originados.

Outro ponto que devemos mencionar refere-se à participação na Campanha Sprite Brasil, que pretende estudar fenômenos elétricos de alta atmosfera, num esforço empreendido por instituições nacionais e internacionais. Os estudos de sprites, ELVES, blue jets, e outros fenômenos de alta atmosfera, são relevantes visto que ainda apresentam muitas lacunas. Seus efeitos diretos nos seres vivos e nas tecnologias ainda devem ser pauta de muitas pesquisas. Desta forma a participação nesta Campanha coloca-nos na ponta das pesquisas na área de Eletricidade Atmosférica.

### 1.3. OBJETIVOS DO PROJETO DE PESQUISA

Nesta seção apresentamos os objetivos deste projeto de Iniciação Científica. Serão apresentados os objetivos gerais e específicos.

#### 1.3.1. Objetivos gerais

▶ Contribuir para os estudos atmosféricos, especialmente para as áreas de Eletricidade Atmosférica, Meteorologia, Climatologia e áreas afins.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

▶ Acompanhar a instalação da Rede de Detecção de Raios do Sul do Brasil, projeto SIDDEM;

▶ Estudar o princípio de funcionamento dos sensores de detecção de relâmpagos e os softwares utilizados para processar os dados de relâmpagos;

▶ Participar da realização da Campanha Sprite Brasil;

▶ Estudar os fenômenos atmosféricos, especialmente os relacionados à área de Eletricidade Atmosférica;

▶ Familiarizar-se com os detectores Field Mill, de Raios Cósmicos e relâmpagos, instalados no OES;

▶ Apresentar os resultados de pesquisas em eventos científicos;

▶ Trabalhar com dados dos sensores: *Lightning Imaging Sensor* – LIS e *Optical Transient Detector* – OTD;

▶ Obter formação básica na área de Eletricidade Atmosférica;

▶ Redigir o relatório final de Bolsa de Iniciação Científica.



## CAPITULO II

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. CONCEPÇÃO DE MÉTODO CIENTIFICO

O método científico é um dos temas mais discutidos atualmente, visto sua importância. Autores consagrados têm abordado com grande propriedade esta questão, onde as convergências e a divergências fazem parte destas discussões. Na história da ciência, o método nem sempre esteve presente, pelo menos o método científico como o conhecemos atualmente. A evolução da ciência passou pela sistematização do conhecimento, originando o método científico.

A sistematização do conhecimento conferiu uma maior cientificidade as pesquisas, visto que possibilitou a repetição de experimentos e medidas baseado numa orientação pré-definida. A derivação de diversas Ciências da Filosofia ocorreu por meio da sistematização do conhecimento das novas Ciências. Nesta breve abordagem do método científico nos deteremos a discussão do método Indutivo, Dedutivo e o Dialético. Na abordagem indutiva consideramos diversos casos particulares e a partir destes fazemos uma generalização. No método Dedutivo partimos do geral e a partir deste especificamos os casos individualmente. A abordagem Dialética considera os fatos uma seqüência de processos, sistemas, sendo que assim aborda a gênese de evolução dos fatos/processos. Desta forma entendemos método científico como uma forma de abordagem sistematizada orientada para a aquisição de um determinado conhecimento. Este conceito difere profundamente dos procedimentos metodológicos, que estão relacionados com os meios que utilizamos para atingir os objetivos propostos.

#### 2.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A partir da revisão bibliográfica, que constituiu a primeira parte deste trabalho de Iniciação Científica, verificamos que era possível produzir alguns trabalhos utilizando dados dos sensores LIS e OTD, dos detectores instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, e da Rede Nacional de Detecção de Relâmpagos, além de informações de outras variáveis atmosféricas, como temperatura, precipitação, ventos.

O trabalho sobre a distribuição dos relâmpagos no Rio Grande e do Sul em função das características geográficas, partiu da aquisição dos dados sobre os relâmpagos, que foram obtidos do *site* da NASA <<http://thunder.nsstc.nasa.gov/lightning/cgi-bin>>, que são gerados por um sensor a bordo do satélite TRMM, denominado LIS. Estes dados foram distribuídos em quadros de 1° de latitude e longitude, referentes os anos de 1998 a 2003. Como resultado apresentamos mapas anuais e sazonais, com médias das variáveis consideradas. A distribuição dos quadros obedece à unidade adotada para adquirir os dados do sensor LIS. O resultado

final resultou no artigo “Lightning activity as a function of the geographical characteristics at Rio Grande Do Sul - Brazil”.

Sobre o Sistema de Detecção de Relâmpagos do Sul do Brasil, buscou-se levantar os dados como datas, locais de instalação de sensores. Foi elaborado um mapa da distribuição dos sensores, onde a precisão cartográfica não foi objetivada, contribuindo para ilustrar esta distribuição, para tal utilizamos o aplicativo *adobe photoshop 6.0*.

A variação da atividade de relâmpagos sobre o oceano e sobre o continente foi estudada. Obtivemos dados do sensor LIS, para quadros de  $0,5^{\circ} \times 2^{\circ}$ , de forma a acompanhar todo o litoral do Rio Grande do Sul. Os quadros foram distribuídos em três classes, uma que correspondia aos relâmpagos que ocorreram somente sobre o continente, outra somente sobre o oceano e uma terceira classe onde os dados eram mistos. Após se construiu uma serie de mapas temáticos e partiu-se para a análise destes, baseado na revisão bibliográfica. O trabalho final foi: “Contrast in atmospheric discharges over land and ocean at Rio Grande Do Sul – Brazil”.

A utilização dos dados de relâmpagos para prever eventos atmosféricos foi abordada a partir de mapas da distribuição global de relâmpagos, elaboração de gráficos e análise de dados. Como resultado apresentamos o trabalho intitulado: “Uso de informações sobre relâmpagos para o monitoramento e previsão de eventos atmosféricos”.

Outro trabalho sobre a “formação de fulguritos no Rio Grande do Sul” partiu da revisão da bibliografia pertinente, análise e redação de um resumo partindo das concepções geológicas e climáticas da evolução do Estado do Rio Grande do Sul.

Para divulgar os métodos de detecção de relâmpagos e a importância destes estudos redigimos o seguinte trabalho: “Diferentes tipos de sensores de superfície usados na detecção de relâmpagos”. Tivemos como base uma revisão bibliográfica, análise de cada método, objetivando entender princípio de funcionamento dos métodos de detecção.

Para apresentar os equipamentos de detecção de fenômenos elétricos da atmosfera instalados no Observatório Espacial do Sul – OES, e verificar seu desempenho e elaboramos o seguinte trabalho: “Eletricidade atmosférica – sistemas de detecção na região central do estado do rio grande do sul”, a partir de uma revisão teórica sobre estes instrumentos de detecção. Os detectores examinados foram: Detector de campo elétrico atmosférico, Field Mill, o detector de raios cósmicos e o detector de relâmpagos.

Para abordar o vendaval que assolou a cidade de Santa Maria no dia 11 de setembro de 2002, utilizamos dados oriundos do banco de dados da subdivisão da National Oceanic Atmospheric Administration – NOAA, o Climatic Diagnostics Center – CDC. Estes dados foram analisados com o uso do aplicativo GrADS - Grid Analysis and Display System, desenvolvido pela COLA - Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies. A classificação do evento foi feita utilizando a escala Fujita e a escala TORRO, criada pela Tornado and storm Research Organisation. Estes dados foram estudados para as áreas compreendidas entre as coordenadas de 280E – 320E de longitude e 20S – 40S de latitude. Onde a cidade de Santa Maria esta situada entre as latitudes de 29°23'00” a 30°00'00” sul, e longitudes de 53°15'00” a 54°00'00” oeste. A análise foi feita a partir dos mapas e dados de outras fontes. A classificação da tempestade é feita combinando as escalas Fujita e TORRO, que são apresentadas na Tabela 1. Os valores fornecidos pelo GrADS referem-se a medidas instantâneas para um determinado horário. A cobertura espacial destes dados é de  $2,5^{\circ}$  de latitude x  $2,5^{\circ}$  de longitude. Analisamos uma imagem do satélite GOES, focando a região exatamente na hora em que ocorreu a tempestade. Esta imagem foi obtida diretamente do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE – MCT. A carta METAR da Aeronáutica foi estudada. As imagens do GOES e carta METAR são utilizadas como uma

forma de comparar e mostrar a relação entre as mediadas GrADS e os dados de estações meteorológicas e de satélites.

ESCALA FUJITA E ESCALA TORRO												
<i>Efeito</i>	-				Significativo							
<i>Percepção</i>	“Fraco”				Forte				Violento			
<b>Fujita</b>	<b>F0</b>		<b>F1</b>		<b>F2</b>		<b>F3</b>		<b>F4</b>		<b>F5</b>	
<b>TORRO</b>	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>	<b>T10</b>	<b>T11</b>
<b>V em ms<sup>-1</sup></b>	17-25	25-33	33-42	42-51	51-61	61-71	71-82	82-93	93-105	105-117	117-130	130-143
<b>V em Km/h</b>	76 ±1 4	104 ±14	135 ±16	167 ±16	202 ±18	238 ±18	275 ±20	315 ±20	356 ±20	400 ±22	445 ±23	491 ±23

Tabela 1 – Escala Fujita e Escala TORRO

Fonte: Adaptado de Nikolai Dotzek, 2000.

Durante do processo de familiarização com o software Surfer, foi elaborado um trabalho sobre suas potencialidades para os estudos de eletricidade atmosférica. Este trabalho foi baseado em dados de relâmpagos do LIS, que por estarem georeferenciados, permitirão a combinação de outras variáveis, tais como a radiância, número de eventos, tempo dos eventos. Todos estes processo foram feitos utilizando o aplicativo Surfer.

Além dos trabalhos realizados, participamos de palestras, conferencias e congressos, buscando ampliar nossos conhecimentos e interagir com pesquisadores. Buscamos trabalhar de forma integrada com pesquisadores japoneses, no âmbito da parceria Brasil-Japão, que possuem vários equipamentos instalados no OES.

## CAPITULO III

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. UM POUCO DE HISTORIA

Até o século XVIII os relâmpagos eram vistos como fenômenos de origem metafísica e interpretados como manifestações dos deuses, geralmente negativas, (Pinto Jr. 1996 e 2000). Em 1752 o americano Benjamin Franklin (1706-1790) comprovou através de seus experimentos o caráter elétrico dos relâmpagos e das tempestades. Seu primeiro experimento consistiu em empinar uma pipa em um local próximo a uma tempestade, ligada por um fio condutor. Assim uma parte da carga localizada num ponto da Atmosfera fluiu pelo fio condutor provocando faíscas entre a outra extremidade do fio a mão de Franklin. O experimento de Franklin está ilustrado na Figura 1A. Ao tentar repetir este experimento muitas pessoas morreram. O experimento de Benjamin Franklin deu inicio aos estudos sobre os fenômenos elétricos na Atmosfera, dando inicio as pesquisas de Eletricidade Atmosférica. No entanto, em 1708 William Wall observou uma faísca saindo de um pedaço de âmbar e observou que esta era parecida com um relâmpago. Em 1750 Franklin propôs que a eletricidade das nuvens poderia ser drenada por um mastro metálico. Em 1752 Thomas-François D'Alibard comprovou a validade do modelo proposto por Franklin, conforme mostra a Figura 1B.

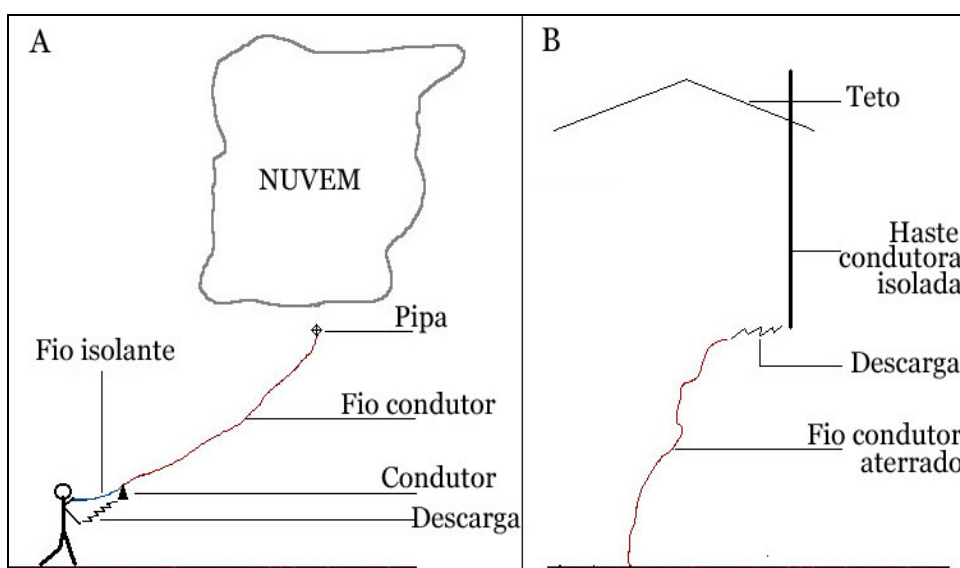


Figura 1 – Experimentos realizados por Franklin no século XVIII.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. E Pinto (2000, p. 18 e 21)

Ainda no ano de 1752, L. G. Lemonnier realizou novamente o experimento do mastro, no entanto, ao invés de usar um fio aterrado, jogou um pouco de poeira, que foi atraída, comprovando que mesmo com uma condição de tempo bom, a Atmosfera possui uma carga elétrica e identificou variações diurnas de tal eletrificação. Em 1775 G. Beccaria comprovou a teoria das variações diurnas de Lemonnier na condição de tempo bom. Identificou a polaridade da Atmosfera em condição de tempo bom, sendo positiva e quando uma tempestade se aproxima negativa, concordando com observações anteriores feitas por Franklin. O experimento Beccaria foi confirmado em 1779, por H. B. Saussure, que mediu pela primeira vez a carga induzida em um condutor “imerso” na Atmosfera (Pinto Jr. 2000). Saussure descobriu uma variação anual em condição de tempo bom da eletrificação, além de uma variação com a altitude.

A descoberta de que o ar não é isolante, em 1785, por C. A. Coulomb, não foi aceita na época. Em 1804 P. Erman sugeriu que a Terra era carregada negativamente e em 1842 J. Peltier confirmou esta teoria, sugerindo que a carga da Terra teria se formado durante seu processo de formação (Pinto Jr. 2000). W. Thomson, em 1860, sugeriu que as cargas positivas existiriam na Atmosfera, a fim de explicar a eletrificação na condição de tempo bom, além de reconhecer a influência do campo elétrico. J. Elster e H. F. Geitel teorizaram pela primeira vez a estrutura elétrica das tempestades em 1885. Em 1887, W. Lins comprovou a teoria de Coulomb, chegando aos mesmos resultados dos experimentos realizados 100 anos antes, e sugeriu que a carga da Terra seria quase totalmente perdida em menos de 1 hora se não houvesse uma fonte repositória, dando origem ao Problema Fundamental da Eletricidade Atmosférica<sup>1</sup>.

O primeiro a mostrar que os trovoes são produzidos pelo aquecimento e dilatação do ar provocado pelos relâmpagos foi H. Hirn em 1888. Em 1897 a intensidade máxima de uma corrente foi estimada pela primeira vez por F. Pockels, através do campo magnético residual em rochas basálticas. No último ano do século XIX H. H. Hoffert identificou descargas de retorno individuais através de uma câmara fotográfica primitiva. Neste mesmo ano J. Elster e H. F. Geitel explicaram a presença de íons na Atmosfera através da descoberta de radioatividade na Atmosfera.

No Século XX muitas descobertas foram feitas, principalmente pelo aperfeiçoamento dos instrumentos como câmeras, sistemas de localização de relâmpagos e novos experimentos, tanto naturais como em laboratório, destacando os relâmpagos artificiais. No Brasil, as primeiras pesquisas sobre os relâmpagos se intensificaram no final da década de 80, abordando medidas de campo elétrico da Atmosfera, a partir de balões estratosféricos (Gomes 2003, Pinto Jr. 2000) efetuadas por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE – MCT. Em 1995 foi firmado um convenio entre o grupo de Eletricidade Atmosférica, ELAT, do INPE – MCT e a Companhia Energética de Minas Gerais, CEMIG, e em seguida Furnas Centrais Elétricas passaram a fazer parte, criando o Sistema de Localização de Tempestades – SLT, que hoje cobre praticamente toda a Região Sudeste do Brasil. Além do SLT da Região Sudeste, existem outras redes, uma sobre o Estado do Paraná, do Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR, e outra sobre Rondônia, a *Brazil Lightning Detection Network* – BLDN e a RINDAT, de cobertura nacional.

Os primeiros estudos sobre a distribuição global dos relâmpagos foram realizados nas décadas de 40 e 50, a partir do Índice Ceráunico, ou seja, o número de dias de tempestade que ocorrem em um determinado local em um ano. Atualmente são elaborados mapas de

---

<sup>1</sup> Como a carga negativa da Terra é mantida (Pinto Jr. 2000)

densidade a partir de sensores acoplados a satélites, como o OTD, a bordo do satélite Microlab 1 e o sensor LIS a bordo do satélite TRMM.

Atualmente as pesquisas têm se concentrado no esforço de explicar a origem das cargas elétricas nas nuvens, em relâmpagos incomuns, na atividade de relâmpagos em outros planetas, em fenômenos transientes como os *sprites*, jatos azuis, *E.L.V.E.S.*, relâmpagos artificiais, a influência dos relâmpagos na Química da atmosfera, o estudo do aquecimento global a partir da atividade de relâmpagos, entre outras linhas de pesquisa (Pinto Jr. 2000). Assim, a partir do resgate histórico das pesquisas sobre os relâmpagos, notamos que as pesquisas de Eletricidade Atmosférica tiveram grandes avanços, gerando conhecimentos sobre a atividade das descargas atmosféricas em diversas partes do globo. Seus resultados são aplicados nas previsões de tempo, sistemas de segurança, proteção de equipamentos, linhas de transmissão de energia, etc. No entanto, ainda existe um grande campo para as pesquisas nesta área.

### 3.2. A ATMOSFERA

A Atmosfera é constituída por gases, vapor d'água, partículas de poeira e aerossóis e do total da massa da Atmosfera, cerca da metade esta concentrada abaixo dos 5 km. Entre os gases temos principalmente nitrogênio, oxigênio e outros mais raros como o argônio. A presença de vapor d'água se restringe até cerca dos 15 km, sendo que existe uma concentração maior até os 6 km. Quanto à latitude, sua distribuição é máxima no equador e mínima nos pólos. A quantidade de vapor presente em um ponto da Atmosfera depende da presença de corpos líquidos, da dinâmica e origem das massas de ar, da latitude do local e da estação do ano além das variações diurnas, que vão influenciar na temperatura, entre outros. A presença de partículas de poeira e aerossóis depende de uma serie de fatores e elementos climáticos, como o tipo de superfície, a latitude, a atividade das massas de ar e das correntes de ventos, da atividade humana, etc. A composição química da Atmosfera segue a distribuição do Tabela 2.

Composição da atmosfera abaixo dos 25 quilômetros	
Gás	Volume % (ar seco)
Nitrogênio	78.08
Oxigênio	20.94
Argônio	0.93
Bióxido de Carbono	0.03 Variável
Neônio	0.0018
Hélio	0.0005
Ozônio	0.00006
Hidrogênio	0.00005
Criptônio	Indícios
Xenônio	Indícios
Metano	Indícios

Tabela 2 – Composição da Atmosfera e porcentagem de cada elemento.

Fonte: Adaptado de Ayoade (1998, p. 16)

A porcentagem de participação do vapor d'água na composição da Atmosfera pode variar de 0% a 4%, dependendo do local da análise. Assim, em ambiente desértico a

participação pode chegar a 0% enquanto que nas regiões equatoriais esta participação pode representar até 4% (Ayoade, 1998). A concentração de Ozônio se dá quase exclusivamente entre os 15 e 35 km de altitude. A presença de vapor d'água, dióxido de carbono e aerossóis na Atmosfera é de grande importância, em função do papel que exercem sobre o balanço de energia da Atmosfera.

Estas características nem sempre foram assim. A formação da Atmosfera Terrestre começou com o resfriamento do Planeta. As primeiras chuvas sequer chegavam à superfície, pois tornavam a evaporar na própria atmosfera (Löbsack, 1964). Com o passar de milhões de anos, a atual composição química foi sendo configurada. As condições extremas da Atmosfera primitiva fizeram com que as primeiras células vivas surgissem nos oceanos. Estas células formaram os primeiros seres capazes de realizar fotossíntese. Assim, a absorção de carbono, surgimento da camada de ozônio, resfriamento da superfície, entre outros processos, possibilitaram o desenvolvimento da vida nos continentes.

Segundo a estrutura a Atmosfera pode ser definida de acordo com vários parâmetros, entre eles temos a temperatura, a concentração de íons e pela condutividade. Em relação à temperatura, ela está dividida em Troposfera, Estratosfera, Mesosfera e Termosfera. Segundo Ayoade (1998): “A camada mais baixa da Atmosfera é denominada *Troposfera*. A Troposfera contém cerca de 75% da massa gasosa total da Atmosfera e virtualmente a totalidade do vapor d'água e de aerossóis.” Assim, esta é a camada mais importante para os seres vivos, é onde se processam as condições de Tempo e Clima, como as turbulências. Sua temperatura diminui numa escala de 6,5°C a cada 1000 metros. No limite superior da Troposfera existe uma camada de inversão de temperatura, denominada Tropopausa. Esta camada limita as convecções e outras atividades do Tempo. A altitude da Tropopausa varia com a latitude, sendo que no Equador é de cerca de 16 km e em direção aos pólos esta é reduzida para a metade, 8 km. Por fim, a Troposfera pode ser dividida em três sub-camadas: A camada laminar, a friccional e a Atmosfera livre.

Na camada laminar os processos de transferência de energia se dão por condução e são muito lentos. Esta camada marca a transição do solo para a atmosfera. Em seu limite superior existe uma camada de cerca de 1000 metros de espessura conhecida como camada de atrito ou friccional, com transferência vertical de calor relacionado aos processos turbulentos e redemoinhos. A camada da Atmosfera livre apresenta ventos mais fortes, visto que não sofre influência do atrito provocado pelas irregularidades da superfície. As nuvens são as principais responsáveis pelas transferências verticais de energia nesta camada. O modelo do comportamento da temperatura em função da altitude pode ser visto na Figura 2A.

Após a Tropopausa temos a Estratosfera, que se estende até os 50 km. Nesta camada da Atmosfera a temperatura aumenta com a altitude. A densidade de ar é mais baixa, o que faz com que o aquecimento seja mais rápido. Parte do ozônio se concentra nesta camada, com máxima concentração em torno dos 22 km. Esta camada sofre grandes mudanças sazonais. Ela concentra pouco vapor d'água. Em seu limite superior encontra-se a Estratopausa, que é uma zona isotérmica.

Na Mesosfera a temperatura volta a diminuir, até um mínimo de 90°C em torno dos 80 km de altitude. Apresenta uma pressão atmosférica muito baixa. Em seu limite superior está a Mesopausa.

Na Termosfera a temperatura volta a aumentar, fato relacionado à absorção de radiação ultravioleta, UV, pelo oxigênio. Nesta camada existe uma região com uma alta concentração de íons, acima dos 100 km, denominada de Ionosfera, que tem sua origem relacionada à forte influência dos raios-X e UV.

Em relação à concentração de íons e a condutividade a Atmosfera pode ser

dividida, segundo Pinto Jr. e Pinto em: ‘Atmosfera Inferior, correspondente a Troposfera, Média Atmosfera, correspondente a Estratosfera e a Mesosfera, e a Atmosfera Superior, correspondente a Termosfera’. Conforme a Figura 2B.

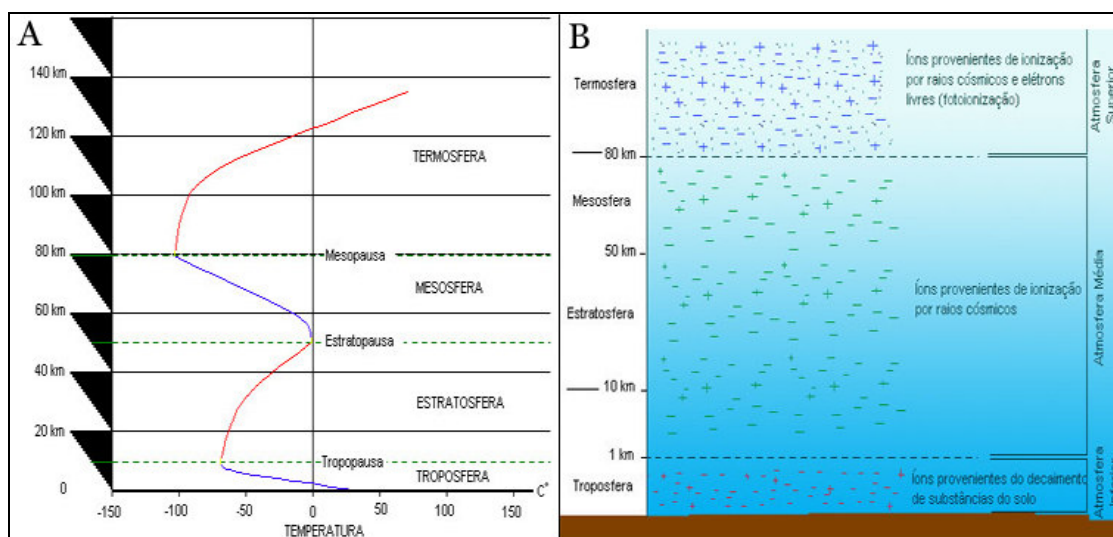


Figura 2 – A - Comportamento da temperatura em função da altitude. B - Camadas da Atmosfera quanto à concentração de íons, condutividade e origens dos íons e elétrons. Fonte: Adaptado de Ayoade (1998, p. 20).

A criação de íons na Atmosfera Inferior e Média geralmente está relacionada à ionização de moléculas de nitrogênio e oxigênio neutras por raios cósmicos primários e secundários além da origem relacionada ao decaimento radiativo de substâncias do solo, como urânio e tório, e do ar, como o gás radônio. Esta razão de ionização depende das condições meteorológicas, latitude, altitude, características do solo, atividade solar, atividade geomagnética, etc. A concentração de íons nestas camadas é baixa. Após a sua formação, estes íons se juntam às moléculas de água, formando os aglomerados de íons ou íons pequenos. Quando estes íons pequenos se unem aos aerossóis e partículas, formam os íons grandes. A produção de íons positivos, cátions é maior do que a de íons negativos, ânions, o que é compensado pelo processo chamado de descarga corona ou pontual. A geração de íons pelos materiais radiativos do solo aumenta a proximidade das linhas de campo elétrico em objetos pontiagudos, o que pode influenciar na descarga conectante. A distribuição das camadas atmosféricas quanto à concentração de íons e a condutividade bem como a origem dos íons, podem ser vista na Figura 2B.

Na Atmosfera Superior são encontrados íons de ambas as polaridades e elétrons livres, formados pela foto-ionização, aumentando a condutividade da Atmosfera e formando a Ionosfera. A concentração de elétrons na Ionosfera depende as variações diurnas, da altitude, da latitude, das características geográficas do local e da atividade solar. Acima da Ionosfera temos a Magnetosfera, região da Atmosfera dominada pelo campo magnético da Terra, onde, segundo Pinto Jr. e Pinto (2000) as “partículas carregadas são aprisionadas pelo campo magnético formando cinturões de radiação ao redor da Terra”. Acima da Magnetosfera localiza-se a Magnetopausa.

A mobilidade<sup>2</sup> dos íons na Atmosfera inferior e média é menor do que na

<sup>2</sup> Segundo Pinto Jr. e Pinto: “A facilidade dos íons de moverem-se através das partículas neutras (...), o qual depende da massa e da carga dos íons, da densidade de partículas neutras e da temperatura”.



Atmosfera Superior, o que implica em um aumento da condutividade com o aumento da altitude devido à diminuição da densidade atmosférica. Na Atmosfera Inferior e Média a condutividade é isotrópica e na Atmosfera Superior esta é anisotrópica. Outro fator que varia com a altitude é o tempo de relaxação<sup>3</sup>, que é menor à medida que aumenta a altitude.

Os processos dinâmicos que ocorrem na Atmosfera dependem da entrada de energia. Esta é proveniente da radiação, dando origem a um balanço térmico da Atmosfera. Quase toda a radiação que atinge a Atmosfera é proveniente do Sol, 99,97%, sendo que a Terra intercepta  $2,55 \times 10^{18}$  calorías de energia a cada minuto. Isto equivale a 30 mil vezes o consumo humano total no Globo em um ano. A quantidade de energia que chega ao topo da Atmosfera em um minuto numa área que forma ângulos retos com os raios solares é de aproximadamente duas calorías por  $\text{cm}^2$ ,  $2 \text{ langleys/min.}$ , e representa a Constante Solar. Esta constante apresenta pequenas variações que podem chegar a 2%. Assim, a quantidade de radiação que chega ao topo da Atmosfera pode variar de acordo com 3 fatores principais: O período do ano, o período do dia e a latitude. Mas também afeta esta quantidade a altitude do Sol. Devido à órbita elíptica da Terra, no periélio uma região recebe cerca de 7% mais energia do que no período de afélio. Desta forma, no Equador,  $5^\circ \text{ N}$  e  $5^\circ \text{ S}$ , temos dois máximos no recebimento de energia, marcados pelos equinócios e dois mínimos nos solstícios. Conforme nos dirigimos em direção aos pólos têm-se grandes variações. Nos pólos o máximo de energia chega no solstício de verão, época em que o dia é constante nesta região. Assim podemos perceber que quanto maior a latitude, maior é a duração do dia no verão e da noite no inverno.

Se considerarmos 100% o total que energia que entra na Atmosfera, uma série de processos interferem até parte da energia chegar a superfície. Entre estes processos temos a reflexão, a absorção e a difusão. Em média, considerando certa nebulosidade, calcula-se que apenas 42% a 45% do total da energia que entrou na Atmosfera, 100%, chega à superfície. A reflexão em geral é resultado da condição de albedo das nuvens que encobrem o céu em um determinado momento. A taxa de reflexão das nuvens varia segunda sua densidade, espessura e tipo. Em média a reflexão exercida pelas nuvens é de 25%. Além do albedo das superfícies podemos citar ainda como fatores que influenciam na reflexão, a distribuição das superfícies terrestres e aquáticas e as elevações e suas características. O ângulo de incidência dos raios que atingem uma superfície, onde ângulos oblíquos e inclinados refletem mais que os ângulos retos. A absorção se dá pela retenção de energia por parte dos corpos líquidos, sólidos e gasosos presentes na Atmosfera. Em geral as ondas curtas são absorvidas. Em média 18% a radiação incidente no topo da Atmosfera é absorvida. Entre os elementos que vão captar energia temos gases como o nitrogênio e oxigênio, o vapor d'água e nuvens. A difusão pode ser ascendente ou descendente. Na primeira a radiação é difundida para cima e na segunda para baixo. Em média 6% da radiação é difundida para baixo. Em relação aos comprimentos das ondas, temos a difusão de *Rayleigh*<sup>4</sup> e a difusão de *Mie-Mie scattering*<sup>5</sup>. Além destes 3 processos ainda deve ser considerada a reirradiação terrestre.

Sobre os fatores geográficos que atuam na Atmosfera temos a continentalidade/maritimidade, altitude, latitude, vegetação, etc. Como elementos climáticos podemos citar a temperatura, a pressão, os ventos, as precipitações, entre outros. A definição destes conceitos foge dos objetivos deste Relatório. Assim, partimos para os comentários a respeito da circulação atmosférica regional e da América do Sul. Os principais responsáveis pela circulação atmosférica são os centros de altas e baixas pressões. Estes centros podem ser

<sup>3</sup> Conforme Pinto Jr. e Pinto: “o tempo para a atmosfera blindar a carga de um objeto imerso nela por um fator de 0,37. (...) dado em condição de tempo bom pela permitividade do ar dividida pela condutividade”.

<sup>4</sup> Afeta comprimentos de onda mais curtos, aplicada as partículas de raio inferior a  $10^{-1}$ .

<sup>5</sup> Difunde os comprimentos de onda mais longos, sendo uma difusão não-seletiva.

de origem térmica e/ou dinâmica. Além dos centros de pressão, temos as massas de ar e as perturbações atmosféricas. Estes três vão agir de forma integrada para produzir as principais características no que tange a circulação atmosférica, bem aos tipos de tempo que se sucedem.

Na América do Sul, devemos levar em consideração os seguintes centros de alta pressão: Anticiclone Tropical do Atlântico Sul – ATAS, Anticiclone Tropical dos Açores – ATAç, e anticiclone Tropical Pacífico – ATP, estes 3 fenômenos considerados são anticiclones permanentes/semifixos. E como anticiclones migratórios que agem na América do Sul destacam-se o Anticiclone Migratório Polar – AMP, que se divide em duas células ao chegar à Patagônia, devido à influência do relevo, formando o Anticiclone Migratório Polar Pacífico – AMPP, que segue pelo litoral do Chile, e o Anticiclone Migratório Polar Atlântico – AMPA. Em relação aos sistemas de baixas pressões ou depressões, devemos levar em consideração a Baixa Equatorial, representada pela Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, a baixa ou depressão do Chaco, a Baixa do Mar de Weddell; estas baixas são semifixas. Como baixas móveis temos os Ciclones Extra Tropicais ou Ciclones Frontais, os Tornados e os Ciclones Tropicais ou Furações, que na Ásia são conhecidos por Tufões.

As perturbações atmosféricas são todos e quaisquer processos que altera as condições de estabilidade mantidas pelo domínio de uma massa de ar. Dentro das perturbações atmosféricas devemos considerar principalmente as frentes. A frente se forma no ponto da intersecção da superfície frontal com a superfície do solo. A superfície frontal pode ser definida como a sendo a zona que separa as duas massas de ar, devido sua diferença de densidade. As frentes, tanto frias quanto quentes, sempre se formam pela convergência de duas massas de ar, sendo que ela, à frente, se localiza na periferia das massas de ar, sendo por isso uma área de baixa pressão por excelência. Como todos os centros de baixa pressão, as frentes causam instabilidade do Tempo.

O que vai definir se a frente é fria ou quente, é a massa de ar que esta com maior pressão. Quando a massa de ar quente esta com maior pressão e conseqüentemente empurra a massa fria, se define uma frente quente. Quando a massa de ar fria esta mais forte e empurra a massa mais quente se define uma frente fria. Podemos ainda ter a frente oclusa quente ou fria, que se formam quando a massa de ar quente perde o contato com a superfície. Isso ocorre porque existem duas outras massas de ar por baixo dela. Uma massa fresca e outra fria, que por causa de sua maior densidade, em função da temperatura, permanecem em contato com a superfície. A partir dos processos de oclusão é que se formam os ciclones frontais, que são um dos sistemas que mais produz relâmpagos no Rio Grande do Sul.

No estudo das frentes é de grande importância que se saiba o que é frontogênese e frontólise. A primeira pode ser entendida como todo o processo de formação de frentes, sendo que no globo temos a zona frontogenética, que se estende mais ou menos dos 30° de latitude sul aos 60° de latitude sul. A partir desta inferência podemos dizer que o Rio Grande do Sul, em parte, é uma zona frontogenética por excelência. A frontólise é o oposto de frontogênese, ou seja, é o processo de “destruição” das frentes. Este processo sempre se da do interior do continente para o oceano e nunca o contrário. As depressões ou ciclones frontais estão intimamente ligados às frentes oclusas e têm sua origem relacionada à grande extensão das frentes, o que faz com que ela ondule, gerando certa instabilidade no fornecimento de ar quente e frio; ao gradiente de temperatura; a descontinuidade dos ventos; modificação na superfície frontal; etc. Sua formação em geral se da em cinco fases, a saber: Fase inicial ou de formação; fase jovem; fase de onda; fase em que já se tem a oclusão e a fase de dissipação. A todo sistema de frentes, existe um sistema de nuvens associado. O tipo de nuvem vai depender basicamente da velocidade com que as massas de ar se deslocam e das condições de evaporação de um local. As massas frias podem ser de deslocamento rápido ou lento, sendo

que as massas quentes sempre são de deslocamento lento, sendo mais lento que a massa fria lenta. Quando a frente se forma por massas de deslocamento rápido, verificasse um maior desenvolvimento de nuvens de grande desenvolvimento vertical, como as da família Cumulus ou as Cumulonimbus. Nas de deslocamento lento, verificasse uma maior formação de nuvens da família das Stratus. A formação das nuvens, os tipos de nuvens e suas características serão discutido na Seção 3.3.

No Brasil ainda temos outras correntes perturbadas, as correntes perturbadas de sul, de norte, de leste e de oeste. Na Região Sul e conseqüentemente no Rio Grande do Sul vão interferir principalmente as correntes perturbadas de sul e de oeste.

### 3.3. A FORMAÇÃO, TIPOS E CARACTERÍSTICAS DAS NUVENS

As nuvens são partículas de água, gelo e aerossóis em suspensão na Atmosfera, visíveis. Sua formação se dá pelo resfriamento do ar e posterior condensação da umidade em função da ascensão e a expansão adiabática, ao redor de núcleos de condensação ou chamados de núcleos higroscópicos. Sua movimentação se dá em função dos ventos e correntes de ar, apresentando correntes interiores ascendentes e/ou descendentes, dependendo do tipo de nuvem.

A formação das nuvens pode estar relacionada a frentes, frias, quentes ou oclusas, por convergência de massas de ar e a convecção localizada em pontos específicos. A formação das nuvens depende da quantidade de umidade presente na Atmosfera, assim, em locais de pouca evaporação e evapotranspiração, seja em função da falta de corpos líquidos superficiais ou pela baixa temperatura, o desenvolvimento de nuvens fica prejudicado.

Em um sistema de frentes, o tipo e as características das nuvens formadas dependerão da velocidade de ascensão do ar quente e da inclinação da rampa de ascensão. Quando maior a inclinação, menor será a largura da faixa de nuvens e maior será a extensão vertical das nuvens.

Nas frentes quentes a faixa horizontal de nuvens é maior, desenvolvimento horizontal facilitado pela inclinação suave da rampa. Os sistemas de nuvens associados às frentes quentes são da família das stratus e cirrus como, Cirrostratus, Altostratus e Nimbostratus. As frentes frias de deslocamento lento apresentam uma superfície de inclinação da ordem de 1:100 a 1:150. O sistema de nuvens associado a este tipo de frente é constituído de Cirrus, Cirrostratus, Altostratus, Nimbostratus, Cumulonimbus, Altocumulus, Altostratus e Cumulus. As frentes frias de deslocamento rápido possuem uma rampa de ascensão de 1:50, sendo que o ar é rapidamente jogado para cima. Os tipos de nuvens geralmente associados a este tipo de frente são as de grande desenvolvimento vertical, como as Cumulonimbus, Altocumulus e Cumulus. Além da formação de nuvens pelas frentes, temos as nuvens formadas pela convecção. Estas nuvens em geral são nuvens de maior desenvolvimento vertical. Quadro 1 trás a classificação das nuvens.

Há uma classificação das nuvens quanto à altura, sendo divididas em Altas, Médias e Baixas. As nuvens Altas se localizam acima dos 6000 metros, sólidas, são constituídas essencialmente por cristais de gelo e como exemplo citamos Cirrus, Cirrostratus, e Cirrocumulus. As nuvens Médias se localizam entre os 2000 e 8000 metros acima da superfície, com variações conforme a latitude, tanto da base quanto do limite superior, são sólidas e/ou mistas, normalmente podendo apresentar cristais de gelo e gotículas de água super resfriada. Como exemplos deste tipo de nuvens temos: Altostratus e Altocumulus. As nuvens Baixas são aquelas abaixo dos 2000 metros, são constituídas quase que exclusivamente por gotículas de água, ou seja, líquidas, em função da temperatura. Exemplos

deste tipo de nuvens são: Stratus, Stratocumulus, e Nimbostratus. Por fim existe um tipo especial de nuvens, as de grande desenvolvimento vertical, que podem atingir espessura de até 20 km. As nuvens Cumulus e Cumulonimbus, são exemplos deste tipo de nuvens. Entre os principais fatores descritos em relação ao aspecto das nuvens temos a textura, forma da estrutura, suas dimensões, além de sua cor e luminância.

As nuvens Cirros se formam entre os 5 e 11 km, formadas por cristais de gelo, após sua formação, tendem a crescer e apresentam longa duração. As Cirrocumulus se formam entre os 5 e 11 km, constituídas por cristais de gelo, tem um aspecto de banda e filas. Cirrostratus são nuvens constituídas de cristais de gelo e com certa transparência, formadas entre 5 e 11 km, são parecidas com a neblina. As nuvens Cumulus Congestus são formados pela união de pequenos Cumulus. Seu topo pode atingir 13 km. Pileus são nuvens pequenas com uma cúpula superior arredondada. Cumulonimbus são formados de Cumulus que crescem, se estendendo dos 500 a 2000 metros da base até o limite superior da Troposfera, chegando a 20 km de espessura. Dentro destas nuvens podem existir correntes convectivas de ar ascendentes de descendentes, fazendo com que a nuvem cresça. No seu topo se concentram cristais de gelo. Estas nuvens formam granizo pelo constante fluxo e contato que os cristais têm com a água em função das correntes convectivas. A maioria dos relâmpagos são produzidos por este tipo de nuvens. Os Cúmulos são nuvens que geralmente tem origem em dias de sol, devido à evaporação, apresentam suas bases niveladas, a separação dos cúmulos se dá pelas correntes descendentes que compensam as ascendentes. Stratus tem sua base à cerca de 400 metros ou menos, apresentando grande extensão horizontal. O nevoeiro é um exemplo. Os Altocumulus tem sua base entre os 2 e 6 km e se formam acima dos Stratocumulus. São constituídos basicamente por água, podendo conter cristais de gelo. Com base entre os 2 e 6 km temos os Altostratus, em forma de uma camada uniforme de cor cinza. São formadas em geral por gotas de água. As Nimbostratus tem sua base entre os 900 a 3000 metros e podem provocar chuva e/ou neve. Os Stratocumulus apresentam-se sob a forma de uma camada uniforme com várias camadas de Cumulus. A altura de sua base varia de 400 a 200 metros de altitude.

<b>Estágio</b>	<b>Gêneros</b>	<b>Espécies</b>	<b>Variedades</b>	
Nuvens altas	Cirrus	Fibratus	Intortus	Mamma
		Uncinus	Radiatus	
		Spissatus	Vertebratus	
		Castellanus	Duplicatus	
		Floccus		
	Cirrocumulus	Stratiformis	Undulatus	Virga
		Lenticularis	Lacunosus	Mamma
		Castellanus		
		Floccus		
		Cirrostratus	Fibratus	Duplicatus
Nuvens médias	Altocumulus	Nebulosus	Undulatus	
		Stratiformis	Translucidus	Virga
		lenticularis	perlucidus	mamma
		castellanus	opacus	
		floccus	duplicatus	
			undulatus	
			radiatus	
			lacunosus	

	Altostratus		Translucidus opacus duplicatus undulatus radiatus	Virga praecipitatio pannus mamma
Nuvens baixas	Stratocumulus	Stratiformis lenticularis castellanus	Translucidus perlucidus opacus duplicatus undulatus radiatus lacunosus	Virga mamma praecipitatio
	Stratus	Nebulosus fractus	Opacus translucidus undulatus	
	Nimbostratus			Praecipitatio virga pannus Pileus velum virga praecipitatio arcus pannus tuba
Nuvens de desenvolvimento vertical	Cumulus	Humilis mediocris congestus fractus	Radiatus	

Quadro 1 - Classificação das nuvens. Fonte: Disponível em: < <http://www.geocities.com/alexclouds2002/desc.htm> >. Acesso em 05 mar. 2004.

Em relação às variações sazonais, no inverno as cargas estão em geral mais próximas do solo, em relação ao verão. Isto pode ser visto na Figura 3. Este fato influencia na quantidade de relâmpagos de polaridade positiva e negativa, já que as cargas positivas estão mais próximas ao solo, tendem a ocorrer com uma frequência maior em relação às outras estações.

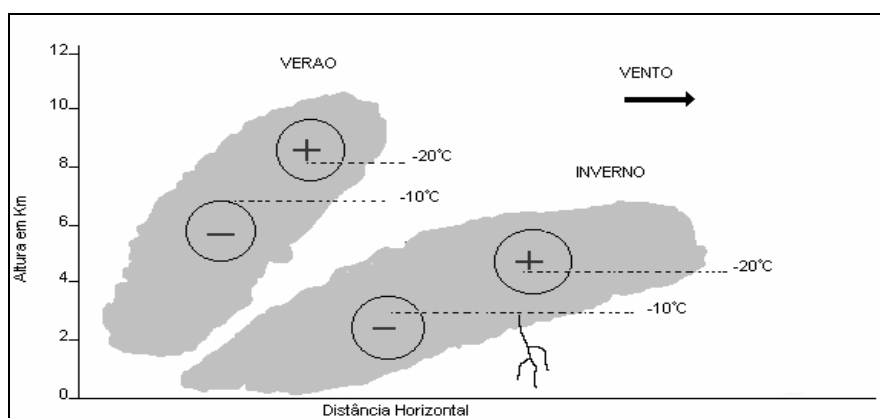


Figura 3 – Mudanças nas nuvens em função das estações do ano. Fonte: Adaptado de Magono (1980, p. 209) apud Gomes (2003, p. 49)

### 3.4. ELETRIFICAÇÃO DAS NUVENS

#### 3.4.1. Tempestades

Antes de se abordar a questão da eletrificação das nuvens, é mister se ter um certo conhecimento sobre as tempestades. Os relâmpagos geralmente ocorrem em nuvens do tipo Cumulonimbus, formando as nuvens de tempestade (Naccarato, 2001; Gomes, 2003; Pinto Jr. e Pinto, 1996 e 2000). Relâmpagos podem ocorrer em nuvens do tipo Cumulus Congestus, Stratocumulus, Altocumulus ou em Nimbostratus (Pinto Jr. e Pinto 2000, Cacenet 2002). Mas os relâmpagos também podem ocorrer em erupções vulcânicas, tempestades de neve, tempestades de areia, em explosões nucleares no fundo do oceano, em laboratórios de geração de relâmpagos artificiais, por indução feita por foguetes e aviões.

As nuvens de tempestade apresentam um grande tamanho, uma grande espessura vertical, gotículas de água super-resfriada e fortes correntes verticais ascendentes e descendentes no interior da nuvem. Estas tempestades podem ser isoladas, ou organizadas. As primeiras são conhecidas como tempestades isoladas ou locais, formadas apenas por uma nuvem de tempestade. As tempestades organizadas se formam pelo agrupamento de várias nuvens de tempestade, apresentando chuvas, ventos mais intensos e uma maior quantidade de descargas atmosféricas e podendo apresentar granizo. As tempestades organizadas são as principais formadoras das tempestades severas. Quando as tempestades são acompanhadas de granizo são chamadas de tempestades de granizo e quando apresentam fortes movimentos de rotação, nas chamadas regiões mesociclônicas, são denominadas de tempestades tornádicas, sendo classificados conforme a Tabela 3.

Classificação	Velocidade mínima	Velocidade máxima
Fraca	-	150
Forte	150	300
Violenta	300	-

Tabela 3 – Classificação das tempestades tornádicas.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)

Dentro das tempestades severas normalmente existem correntes de ar verticais ascendentes e descendentes com velocidade podendo ultrapassar os 100 km/h. Estas correntes são denominadas rajadas e microrajadas. As primeiras possuem um tempo de duração e uma extensão maior do que as microrajadas, duram em geral de 5 a 15 minuto e com uma extensão de até 3 km (Pinto Jr. e Pinto 2000). A gênese das tempestades severas de maneira geral está associada à umidade presente no ar, à instabilidade vertical da Atmosfera e aos mecanismos forçantes. A umidade presente no ar vai definir o grau de saturação deste, e quando se associa aos núcleos de condensação formados por aerossóis, poeira e sais, formam as gotas de água. Existem muitas maneiras de se mensurar a quantidade de Umidade presente na Atmosfera: Umidade absoluta, razão de mistura, razão de mistura de saturação, Umidade relativa e Umidade específica. O grau de instabilidade da Atmosfera se refere à variação da temperatura com a altitude. Esta depende a pressão, da temperatura em função da altitude da umidade. A quantidade de vapor de água presente na Atmosfera ao ascender sofre uma diminuição da temperatura, 1° a cada 100 metros, até condensar, o que acontece quando o ponto de condensação ou nível de saturação. Nesta altitude que se tem à base das nuvens. Após o início da condensação, este processo, condensação, faz com que se libere energia na forma de calor

latente para o ar, aquecendo-o e fazendo com que a temperatura passe a diminuir  $0,5^\circ$  a cada 100 metros deste ponto para cima. Conforme pode ser visto na Figura 4.

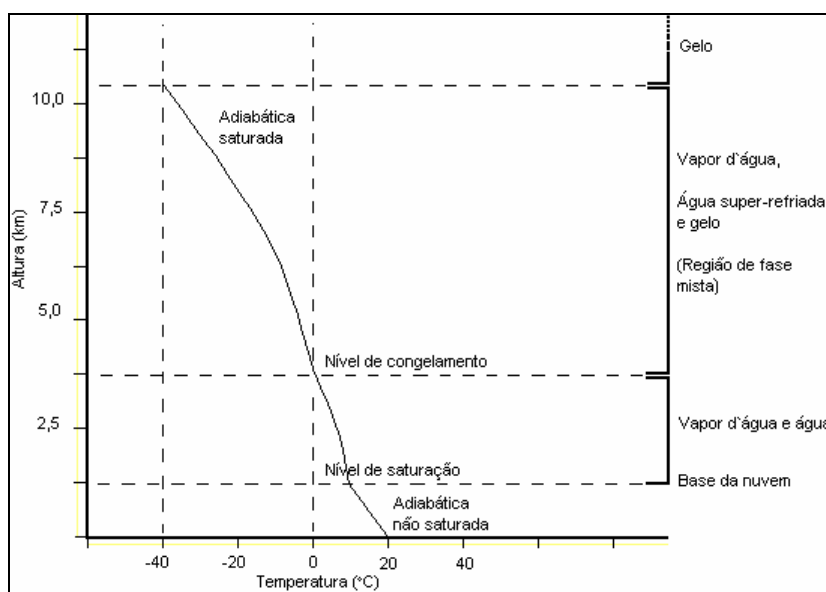


Figura 4 – Efeitos da ascensão do ar.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr e Pinto (2000, p. 43)

A situação da Atmosfera em um determinado ponto define se é uma Atmosfera estável, instável ou condicionalmente estável. Para tal se confronta o perfil da temperatura com o gradiente de variação de temperatura durante a ascensão de uma parcela de ar. A primeira situação se dá quando os movimentos não são permitidos, a segunda quando são e se tem uma Atmosfera condicionalmente estável quando a variação passa a ocorrer a partir de determinada altitude, sendo estável no nível de convecção livre e instável no nível de equilíbrio. Como forçantes entende-se qualquer objeto ou superfície que empurra o ar para cima. Uma outra propriedade das tempestades é o efeito de arrastamento, que consiste em trazer para o interior da nuvem o ar ambiente. Este processo pode interferir no desenvolvimento da nuvem e provocar sua dissipação rapidamente.

A formação de gotas de água super-resfriadas no interior das nuvens se dá por condensação do vapor ao redor dos núcleos de condensação, e estas são levadas para cima e assim se tornam cada vez mais frias, segundo Pinto Jr. e Pinto (2000), pelo “..fato de a pressão de saturação do vapor d’água ser inversamente proporcional ao tamanho (raio de curvatura) da partícula, tende a aumentar estas diferenças de tamanho”. Com uma condição de pressão intermediária, as gotículas de água pequenas tendem a evaporar e a aumentar o tamanho das grandes. Após atingir alguns micrômetros estas tendem a crescer por coalescência<sup>6</sup>, onde as grandes caem mais rapidamente e coletam as gotas menores. As partículas de gelo que se formam a partir das gotículas super-resfriadas tendem a crescer por

<sup>6</sup> Segundo Pinto Jr. e Pinto (2000): “A coalescência ocorre devido ao fato de que gotículas de diferentes tamanhos tendem a cair dentro da nuvem em diferentes velocidades. A velocidade de queda de uma partícula é determinada a partir do equilíbrio entre a ação da gravidade e das forças devido a fricção entre as partículas, e é denominada velocidade terminal”.

deposição, pelo processo conhecido como processo de Bergeron-Findeisen<sup>7</sup>. Além deste processo, as partículas de gelo crescem por crescimento e por agregação. O primeiro ocorre durante sua queda ocasionada pelo aumento de tamanho, onde absorvem gotículas de água super-resfriadas, formando camadas de gelo. A agregação consiste no aumento a partir da agregação de outras partículas de gelo.

Uma nuvem de tempestade apresenta em trono de 500.000 toneladas de gotículas de água, gelo e outras partículas, dos quais apenas 20% retornam ao solo. No globo ocorrem continuamente cerca de 2.000 tempestades, isto equivale a um total diário de 50.000 tempestades e em torno de 16.000.000 por ano. Quase a totalidade destas tempestades ocorre nas regiões tropicais e temperadas, mas podem ocorrer nas regiões próximas aos pólos. Também apresentam uma predominância durante o verão. Há ainda uma predominância das tempestades sobre os continentes em relação aos oceanos, fato associado ao aquecimento diferencial que existe entre estes dois tipos de superfície. Com exceção as áreas sobre montanhas, onde as tempestades ocorrem geralmente às 13 horas, as tempestades normalmente ocorrem entre as 16 e 18 horas local. A altura das tempestades varia com a latitude, sendo máxima no Equador, podendo chegar a 20 km, e diminui em direção aos pólos, sendo em média de 8 km em torno dos 45° de latitude. A base da nuvem tende a acompanhar as variações do topo. A duração das tempestades isoladas é em geral inferior a 3 horas, onde podem apresentar um diâmetro de 10 a 20 km e atingir altitudes de 6 a 20 km. Além disto, podem movimentar-se a uma velocidade de até 50 km/h. Ela pode ser formada por uma única célula, por várias células ou por uma supercélula. No primeiro caso são denominadas de tempestades unicelulares, e os seguintes são multicelulares. As unicelulares podem durar menos de 1 hora e as outras podem permanecer por varias horas (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Equivalendo-se as tempestades multicelulares, as tempestades supercelulares são as maiores tempestades isoladas, podendo chegar aos 20 km de altura. Também são caracterizadas pela sua violência, com correntes ascendentes e movimentos giratórios no interior da nuvem. Possuem uma duração média de 2 a 6 horas. Uma tempestade unicelular apresenta 3 estágios até se dissipar por completo: Estágios de desenvolvimento, maduro e dissipativo, conforme a Figuras 5. A duração de cada estágio fica entre os 20 e 40 minutos.

No estágio de desenvolvimento se da a formação da nuvem de tempestade a partir de pequenas nuvens Cúmulus, onde estas se agrupam e formam nuvens maiores com flor semelhante a uma couve-flor. Estas podem evoluir para uma Cúmulus Congestus, que é ainda maior. Quando não cessa neste estágio, a nuvens continua se desenvolvendo até atingir o nível de congelamento, formando uma nuvem de tempestade unicelular. Em seu interior apresenta movimentos ascendentes. Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000): “Em geral poça chuva e poucos ou mesmo nenhum relâmpagos ocorrem neste estágio”. O estágio madura é atingido quando se formam as correntes descendentes no interior da nuvem, mas também apresenta movimentos ascendentes de ar. Conforme os autores acima: “É neste estágio que a maioria da chuva, relâmpagos, granizo, ventos fortes e tornados ocorrem”. Com a intensificação das correntes descendentes são produzidas frentes de rajadas, ou seja, correntes horizontais. O diâmetro da nuvem neste estágio pode atingir dezenas de km, sendo normalmente de 10 km e sua altitude varia de 8 a 20 km. Devido à ação dos ventos, em sue topo se forma um alargamento da nuvem, dando lhe a forma de uma bigorna. Há evidências de que quanto maior a altura da nuvem, maior a produção de relâmpagos. Na fase dissipativa as correntes são quase exclusivamente descendentes, resfriando a nuvem. A nuvem se dissipa, formando

---

<sup>7</sup> O processo de Bergeron-Findeisen descreve como os cristais de gelo crescem à medida que as gotas super-resfriadas estão num ambiente saturado. Este processo assume particular importância em medias latitudes elevadas, onde as nuvens usualmente estendem-se a alturas acima da temperatura de sub-congelamento.



outras nuvens menores, a atividade de relâmpagos e a chuva diminuem. A Figura 5 mostra a evolução das tempestades.

Nas tempestades multicelulares, supercelulares e organizadas estes estágios ocorrem simultaneamente e podem apresentar um gradiente vertical dos ventos horizontais, permitindo uma maior vida para a tempestade. Os sistemas convectivos de mesoescala, como também são conhecidas as tempestades organizadas, apresentam tipos particulares, como as linhas de tempestade, as linhas de instabilidade e os complexos convectivos de mesoescala. Nas linhas de tempestade as nuvens movem-se em forma de uma linha, no entanto não são ligadas umas as outras. As linhas de instabilidade também se apresentam sob a forma de uma linha, mas onde se integram as nuvens por uma região estratiforme. Os complexos convectivos de mesoescala são os maiores de todos, podendo apresentar diâmetros circulares de 300 ou 400 km onde se interligam centenas de tempestades, com duração de 10 a 12 horas (Pinto Jr. e Pinto 2000; Gomes 2003).

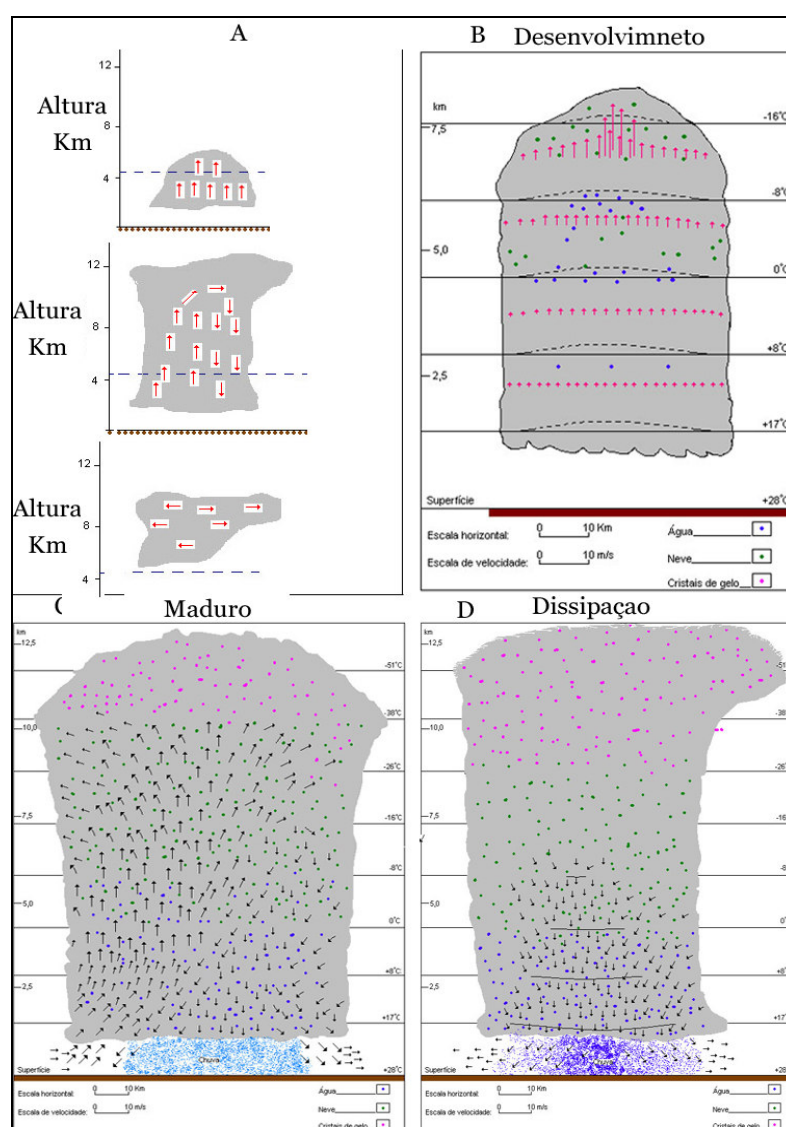


Figura 5 – A – Estágios de uma tempestade unicelular

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 54). B – C – D = Estágios de uma tempestade unicelular – desenvolvimento, maduro e dissipativo, respectivamente.

Fonte: Adaptado de Byers e Braham (1949) *apud* Gomes (2003, p. 33 - 35)

Superando em dimensão e índices de precipitação todas as tempestades até agora mencionadas, temos as tempestades tropicais e as tempestades extropicais ou ciclones. Apresentam dimensões sinóticas e se formam da evolução de tempestades menores através de seu agrupamento. Estas tempestades podem cobrir áreas continentais e ter um ciclo de vida longo.

As tempestades apresentam variações conforme a superfície sobre a qual se formam, continente ou oceano, em função das irregularidades da superfície continental, da hora do dia, da umidade, pela presença de corpos líquidos, o tipo de cobertura do solo, a latitude, continentalidade/maritimidade e em função dos condicionantes meteorológicos.

### 3.4.2. Teorias de eletrificação das nuvens

As teorias sobre a eletrificação das nuvens sugerem que este fenômeno ocorre por processos micro-físicos e macro-físicos, no entanto estes processos ainda não são completamente conhecidos, visto as dificuldades para se conseguir fazer mensurações em nuvens de tempestade e desta forma, este assunto ainda constitui um campo aberto para as pesquisas sobre a eletricidade atmosférica.

Mais de um século e meio após os primeiros estudos sobre a eletricidade contida nas nuvens e dos relâmpagos, somente em 1930 surge o primeiro modelo de distribuição de cargas dentro das nuvens. Era apresentado como um dipolo elétrico, com cargas positivas em cima, a cerca de 1000 metros abaixo do topo e cargas negativa em baixo, conforme a Figura 6A. Cada centro de cargas em geral varia de uma dezena a centenas de Coulombs, com mesma magnitude em cada centro (Gomes 2003, p. 36). Este modelo foi proposto a partir de medidas de campo elétrico e também com base em medidas de cargas contidas nas partículas de chuva.

Pelo fato de existir dentro da nuvem centros de carga, tanto positivo como negativo, um campo elétrico ao redor da nuvem é gerado, formando linhas de campo elétrico, conforme a Figura 6B, onde, conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 60): "Em um dado ponto, o campo elétrico é tangente a estas linhas".

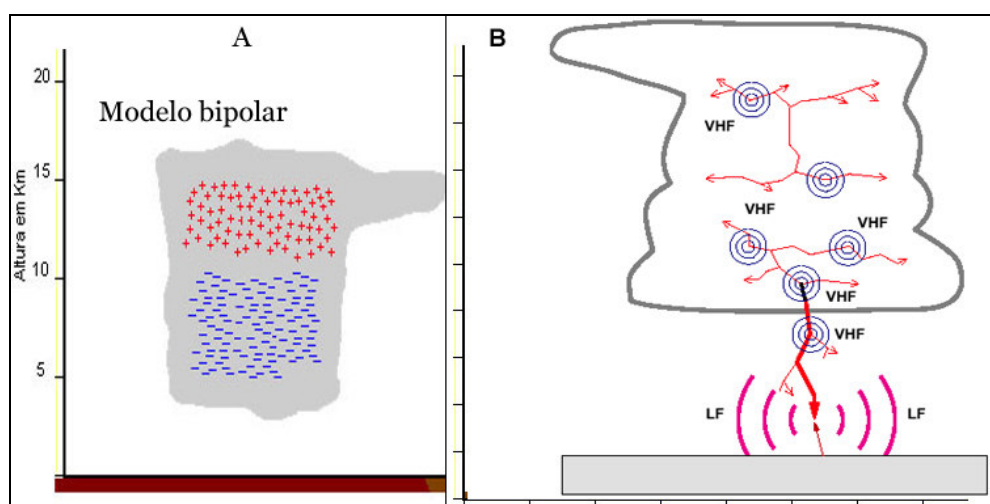


Figura 6 – A - Primeiro modelo de distribuição das cargas dentro das nuvens. B - Campo elétrico formado na atmosfera ao redor da nuvem de tempestade.

Fonte A: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 63); Gomes (2003, 36). Fonte B: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (1996, p. 43; 2000, p. 64); Miranda (2001, p. 20) e U. Finke and O. Kreyer (2002).

Com medidas realizadas na década de 30, surgiu um novo modelo, proposto no final desta década, que consistia em um modelo com três centros de carga, tripolar, com dois centros positivos e um negativo entre os dois. Em sua obra W. W. Lewis de 1949, chamou esta teoria de “Simpson`s Breaking-Drop Theory”. Segundo esta teoria, o vapor de água, aerossóis e poeira são levados para cima pelas correntes de ar ascendentes e devido ao resfriamento e expansão, este material se condensa e/ou congela, formando partículas de gelo e gotas de água. Quando o tamanho destas aumenta, a força da gravidade as atrai para baixo, durante a queda, estas partículas vão se chocando com gotas de água e outros cristais e vão diminuindo de tamanho, sendo que quanto maior o tamanho maior a possibilidade de quebra. Segundo Lewis (1949, p. 1): “When the drops break, negative íons are released into the air, while the water drops become positively charged”. Estes íons são rapidamente recombinados e são carregados pelas correntes de ar. Quando tornam a cair, se quebram novamente, liberando uma grande quantidade de íons, fazendo com que a nuvem se torne eletrificada. Assim, uma grande quantidade de íons negativos é carregada para a parte de trás da nuvem e positivos são acumulados na parte superior da nuvem. O centro de cargas positivas na base da nuvem, no local de ascensão das correntes de ar, depende da velocidade das correntes, sendo formado de gotas carregadas positivamente, dando origem à chuva positiva. A formação do centro de cargas positivas na base da nuvem estaria relacionado ao efeito corona, onde os íons positivos deste centro teriam origem no solo. O modelo proposto por Lewis pode ser visto na Figura 7.

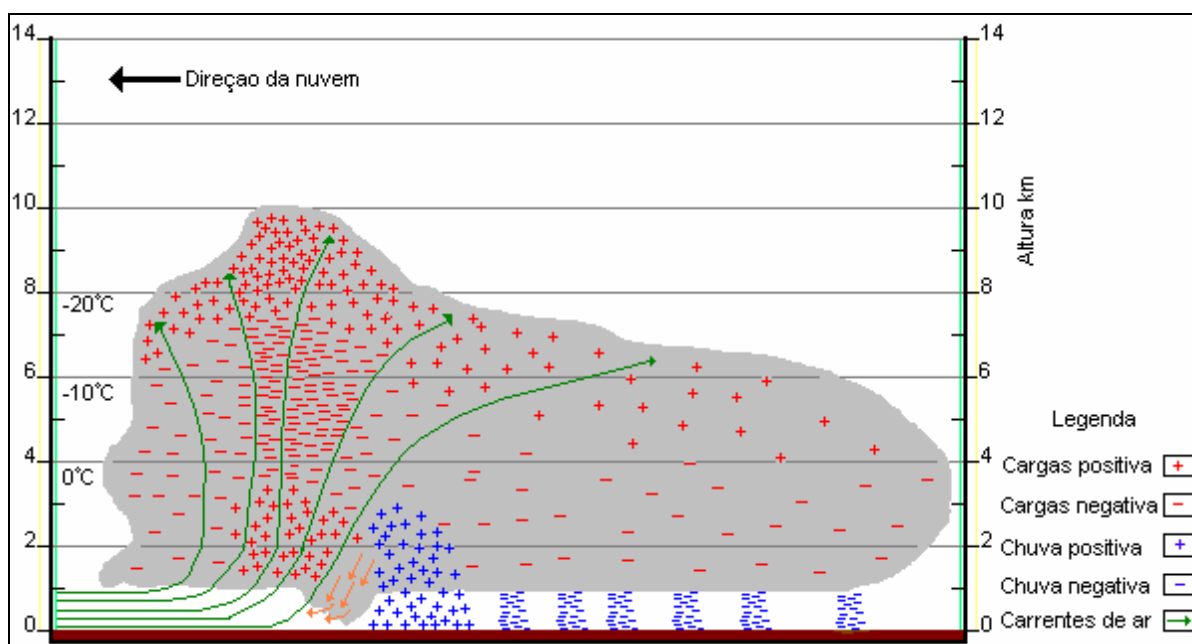


Figura 7 – Modelo de estrutura elétrica e das correntes de ar dentro da nuvem.

Fontes: Adaptado de Lewis (1949, p. 3) e; Williams (1989, p.13153) *apud* Gomes (2003, p. 37)

Com o avanço das pesquisas durante as décadas de 40 e 50, foi sugerido que o modelo tripolar apresentando duas camadas de blindagem, uma positiva na base da nuvem e outra negativa no topo da nuvem. A formação destas camadas de blindagem esta relacionada com a atração exercida por parte dos centros de carga no interior da nuvem sobre os íons de polaridade oposta, existentes na Atmosfera, com origem nos raios cósmicos. Na Figura 8 este modelo pode ser visto.

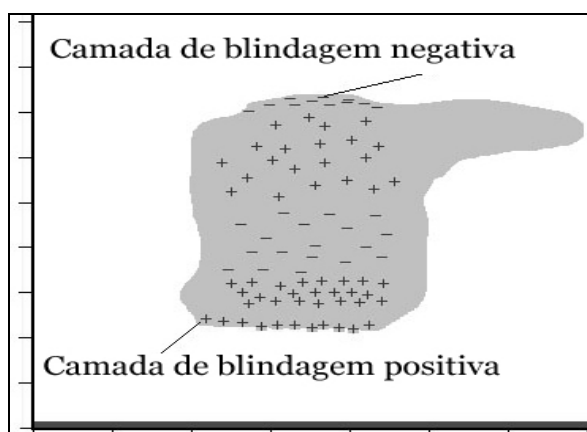


Figura 8 – Modelo tripolar com as camadas de blindagem.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 65)

Uma teoria diferente foi sugerida por Elster e Geitel para explicar a eletrização das nuvens de tempestade. Esta teoria postula que as gotas caem em direção a Terra dentro do próprio campo elétrico da Terra e por causa deste campo as gotas são polarizadas. As pequenas gotas também são polarizadas, com carga positiva na parte inferior e negativa na superior. Durante a queda, quando a superfície inferior das pequenas gotas entra em contato com a superfície superior das grandes gotas, tende a ganhar carga positiva e as grandes gotas ganham uma carga negativa correspondente. Estas pequenas gotas são então carregadas para cima pelas correntes ascendentes e ao longo desta ascensão adquirem carga positiva. Conforme Lewis (1949, p. 3): “These meetings of large and small drops, the exchange of charge between them, and their separation by the action of gravity and air currents will occur again and again”. Com esta contínua separação de cargas, tem-se um contínuo aumento do campo elétrico, até que a descarga atmosférica ocorra. Uma outra teoria para a eletrização das nuvens foi sugerida por C. T. R. Wilson, denominada “Wilson’s Ionization Theory”, onde afirma que a eletrização ocorre devido à progressiva movimentação das gotas de água através das correntes de ar e pela pelo contato das gotas com íons presentes no ar, sendo semelhante a sugerida por Elster e Geitel. Ainda temos uma teoria que busca a explicação da eletrização das nuvens através dos cristais de gelo. Lewis (1949, p. 4), denominou esta teoria de, “Teoria da Eletrificação das Tempestades por Cristais de Gelo<sup>8</sup>”, onde foi sugerida a influência dos cristais de gelo, principalmente na parte superior das nuvens e na Região Antártida. O comportamento dos elementos meteorológicos e dos mecanismos de separação de cargas esta ilustrado na Figura 9A.

No entanto, com o uso de balões nos últimos anos pode-se fazer medidas de campo elétrico no interior das nuvens, mostrando que a distribuição das cargas dentro das nuvens não é tripolar, mas sim multipolar, com centros de cargas nas correntes ascendentes, 4 centros, descendentes, 6 centros, e de uma região para outra. A altura das correntes ascendentes esta na dependência da velocidade destas correntes. Além disto, segundo Pinto Jr. e Pinto: “... durante a fase dissipativa, parte das cargas contidas nos centros inferiores da nuvem são carregados para o solo pela chuva alterando a estrutura elétrica da nuvem”. Um exemplo ilustrativo de uma estrutura elétrica multipolar pode ser visto na Figura 9B.

<sup>8</sup> “Ice Crystal Theory of Thunderstorm Electrification”

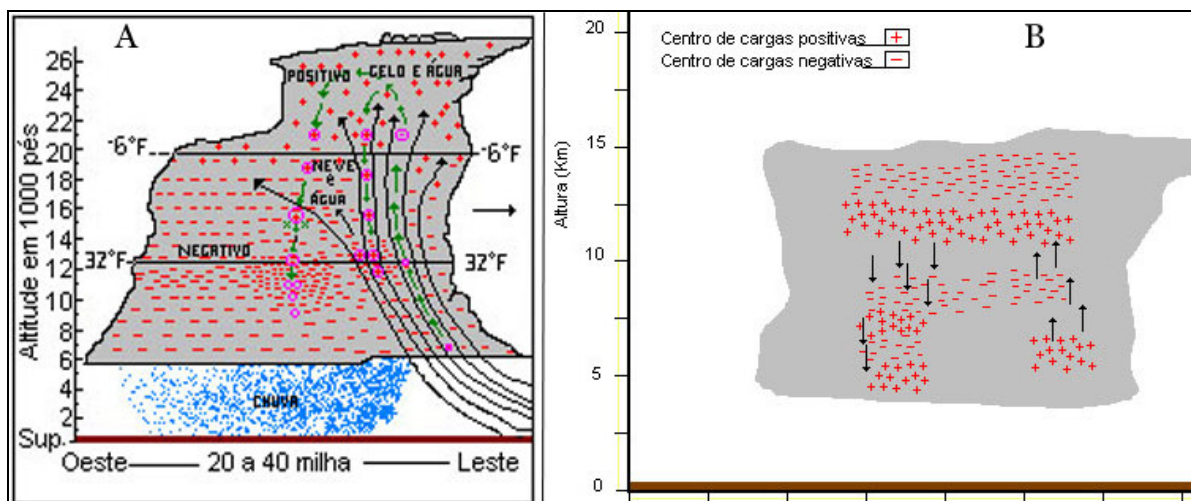


Figura 9 – A - Diagrama mostrando os elementos meteorológicos e os mecanismos de separação de carga dentro da nuvem. B - Estrutura elétrica multipolar de uma nuvem de tempestade.

Fonte A: Adaptado de Lewis (1949, p. 5). Fonte B: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 67)

Atualmente entre as teorias mais aceitas para explicar a produção e separação de cargas dentro das nuvens, temos as relacionadas aos processos Indutivos e outra que faz referência aos processos Termoelétricos.

O processo Indutivo considera do campo elétrico como agente principal, que faz com que as cargas sejam separadas e as partículas maiores como os granizos sejam polarizadas, onde por meio de colisão as cargas do granizo são transferidas para partículas menores como os cristais de gelo. A polaridade das partículas carregadas será positiva se o campo elétrico estiver orientado para baixo, assim as partículas menores, como os cristais de gelo, ficam carregadas positivamente e o granizo passa a ter carga negativa (Pinto Jr. e Pinto, 2000). Sua aceitação no meio científico esta caindo, visto pesquisas terem mostrado que o campo elétrico de tempo bom não é o suficiente para iniciar o processo, no entanto pode-se admitir que este processo ocorra na fase madura e de dissipação, onde o campo elétrico atinge os valores necessários. A Figura 10A traz uma ilustração do processo indutivo.

No processo Termoelétrico a uma variação da polaridade da carga transferida dependendo da temperatura do local onde ocorre o choque entre as partículas. Na altitude em que se tem a temperatura do ponto de inversão de carga, estimada em  $-15^{\circ}\text{C}$ , sendo que se a temperatura do local onde ocorre o choque foi maior que  $-15^{\circ}\text{C}$ , ( $> -15^{\circ}\text{C}$ ), o granizo irá transferir carga negativa para os cristais de gelo, se a temperatura for menor que  $-15^{\circ}\text{C}$ , ( $< -15^{\circ}\text{C}$ ), o granizo transferirá carga positiva para os cristais de gelo. O processo de separação de cargas termoelétrico pode ser visualizado nas Figuras 10B/C.

Contudo os dois últimos processos abordados ainda não explicam satisfatoriamente a formação de uma estrutura multipolar nas nuvens de tempestade. Se aceita que a eletrificação tenha início com o processo Termoelétrico e quando este forma centros de carga intensos o suficiente para gerar um campo elétrico capaz de dar início ao processo Indutivo, este último passa a atuar. No entanto, podem existir outros processos, com relação, segundo Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 73) ao: ‘potencial de contato, as mudanças de fase do gelo para água ou o conteúdo de água super-resfriada’. Por fim, a movimentação das cargas dentro da nuvem se dá por processos gravitacionais, que tendem a atrair para baixo as partículas grandes e manter as partículas menores na parte superior; e os processos convectivos,

representados pelas correntes ascendentes e descendentes.

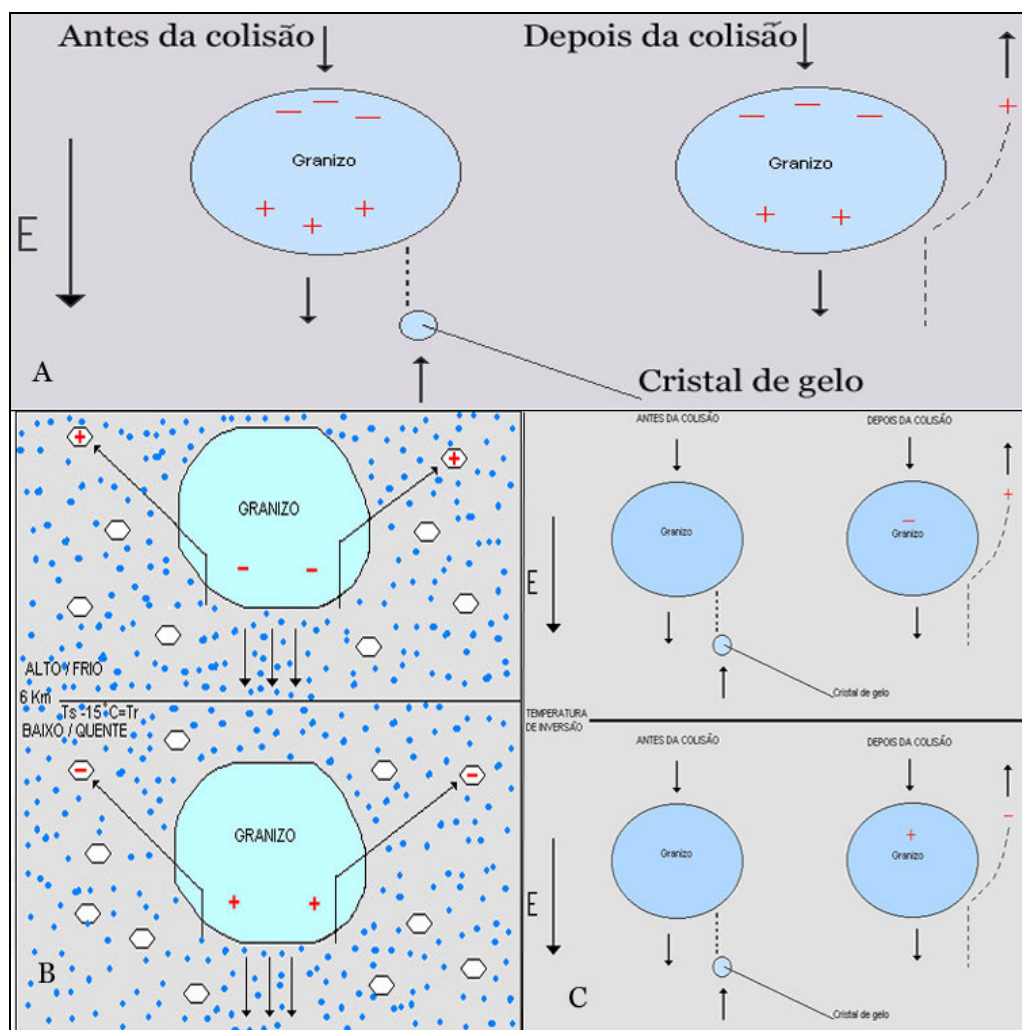


Figura 10 – A - Processo de geração de cargas Indutivo. B - Processo de separação de cargas Termoelétrico–1. C - Processo de separação de cargas Termoelétrico–2.

Fonte A: Adaptado de Pinto Jr. E Pinto (1996, p. 44 e 2000, p. 71) e MacGorman e Rust (1998, p. 62).. Fonte B: Adaptado de Gomes (2003, p. 41). Fonte C: Adaptado de Pinto Jr. E Pinto (1996, p. 44 e 2000, p. 71)

### 3.5. PARÂMETROS DE ANÁLISE NOS RELÂMPAGOS

Os parâmetros de análise de relâmpagos são muitos, entre os principais podemos citar a quantidade e localização das descargas atmosféricas, a largura de pulso, o tempo de subida, multiplicidade, corrente de pico da descarga, duração dos relâmpagos, etc, (Naccarato, 2001; Pinto Jr. e Pinto, 2000; Miranda, 2001)

#### 3.5.1. Quantidade de relâmpagos e sua localização

A quantidade de relâmpagos é um dos parâmetros mais comuns nos estudos sobre as descargas atmosféricas. Estudos são realizados associando este parâmetro às condições de Clima e Tempo, ocupação humana e sua influencia nos relâmpagos, contrastes entre áreas

continentais e oceânicas, variação com a latitude e altitude. A localização de uma relâmpago é dada pelos sistemas de localização de superfície ou orbitais por coordenadas de latitude e longitude. A precisão desta localização é dependente do sensor, podendo apresentar margens de erro inferiores a 500 metros.

### 3.5.2. Multiplicidade

A multiplicidade consiste em mensurar quantas descargas (*strokes*) um relâmpago apresenta. Quando os relâmpagos apresentam apenas uma descarga de retorno é denominado de simples. Mas quando ocorrem duas ou mais descarga de retorno, o relâmpago é denominado de múltiplo. Em geral os sistemas de localização de relâmpagos estipulam um máximo de 15 descargas de retorno possíveis de serem atribuídas a um relâmpago (Naccarato, 2001; Pinto Jr. e Pinto, 1996, 2000; Hamer, 1998). Há registros de relâmpagos que apresentaram mais de 40 descargas de retorno. Nos relâmpagos múltiplos a ordem de ocorrência de cada descarga de retorno define a ordem da descarga (Miranda, 2001).

### 3.5.3. Corrente de pico da descarga

A corrente de pico de uma descarga é dada pelas medidas de intensidade dos relâmpagos a partir da radiação EM emitida pelos relâmpagos. Corresponde ao pico de corrente do relâmpago, e é dado pela primeira descarga de retorno. Assim como para medidas de multiplicidade, a atenuação da radiação ao se propagar também é importante para medidas de corrente de pico. Para se aproximar ao máximo das características reais apresentadas pelos relâmpagos, foram definidos coeficientes de atenuação e cálculos matemáticos a partir de observações empíricas.

### 3.5.4. Largura de pulso

A largura de pulso corresponde ao espaço de tempo entre o máximo de radiação emitida pelo canal do relâmpago e o mínimo necessário para acionar os circuitos do sensor. As informações são obtidas do sensor mais próximo do local estimado para a descarga, minimizando o efeito de atenuação sofrido pela radiação EM emitida pelo canal. Este é o parâmetro atualmente utilizado para diferenciar relâmpagos NS e SN dos IN, considerados todos aqueles com largura de pulso inferior a 10  $\mu$ s (Naccarato, 2001; Miranda, 2001)

### 3.5.5. Tempo de subida

O tempo de subida de um relâmpago é definido como sendo o intervalo de tempo existente entre o mínimo de radiação EM necessária para ativar os sensores e o máximo de emissão, ou seja, até atingir o valor pico (Naccarato, 2001). Assim como a largura de pulso, o tempo de subida também sofre influência da atenuação da radiação com a distância, sendo adotados coeficientes para corrigir este problema.

### 3.5.6. Tempo de duração do relâmpago

O tempo é um dos principais fatores utilizados pelos sistemas de localização de relâmpagos, como por exemplo o sistema TOA, *Time Of Arrival*, onde medidas de tempo são fundamentais, como para definir o tempo de subida e a largura de pulso. Além destes

parâmetros, existem outros como as descargas K, os processos J e M, as variações preliminares, entre outros, em geral baseado na forma do campo elétrico e magnético do relâmpago, que devido ao caráter do trabalho não foram abordados.

### 3.6. CARACTERÍSTICAS DOS RELÂMPAGOS

Os relâmpagos são fenômenos de caráter elétrico que ocorrem quando a resistência dielétrica do ar é rompida. Para o estudo das descargas atmosféricas é necessário considerar uma série de parâmetros, como a polaridade, intensidade, tipo de relâmpagos, forma de onda eletromagnética produzida, além destes, outros parâmetros serão discutidos nesta seção. A maioria destes parâmetros não são percebidos pelo olho humano, como a multiplicidade, mas que com o auxílio de sensores são identificados e tratados para possibilitar o estudo dos relâmpagos, sob a ótica das variações que ocorrem em função do tipo de tempestade, das condições de clima e tempo, das características geográficas e do meio ambiente. Num primeiro momento é necessário entender detalhadamente como é o processo que da início ao relâmpago. Desta forma, se inicia com esse tema esta seção.

Os relâmpagos têm início por uma fraca descarga preliminar, por um período de 10 a 100 ms, a uma altitude variando de 3 a 5 Km, este período é chamado, conforme Gomes (2003, p. 41) “... período de quebra da rigidez preliminar, na região entre o centro negativo de cargas e o pequeno centro positivo de cargas...” e que pode apresentar 3 componentes, BIL, *Breakdown*, Intermediário e Líder escalonado. Assim, mesmo que a rigidez dielétrica do ar estimada em 1000 KV/m na altura da nuvem não seja atingida, as descargas elétricas preliminares ocorrem com uma carga da ordem de 400 KV/m, isto se atribui à presença de gotículas de água polarizadas pelo campo elétrico existente no interior da nuvem e/ou pela ação de raios cósmicos que produzem elétrons que são acelerados pelo campo elétrico da nuvem. Individualmente ou em conjunto, estes dois processos dão início a uma pequena descarga luminosa denominada de líder escalonado.

A partir da quebra da rigidez dielétrica do ar e a formação do líder escalonado, este pode seguir por trajetórias que vão depender da condutividade diferencial do ar em seus diferentes pontos. Desta forma, poderá seguir para o solo, caracterizando uma descarga Nuvem-Solo, NS, da Nuvem para outra nuvem, sendo chamado de relâmpagos Nuvem-Nuvem, NN, da nuvem para o ar, denominado de Nuvem-Ar, NA, começar e terminar dentro da mesma nuvem, conhecido como relâmpago Intra-Nuvem, IN ou da nuvem para cima, Nuvem-para-Cima, NC. O relâmpago pode ter início do solo, denominado de relâmpago Solo-Nuvem, SN. Um esquema mostrando estes diversos tipos de relâmpagos pode ser visto na Figura 11. Existem ainda outras formas de relâmpagos, como relâmpagos esféricos, forma de aranha, relâmpagos com sucessivas interrupções, relâmpagos artificiais, etc. Por fim, existem fenômenos estratosféricos, como os *Sprites*, E.L.V.E.S. precursores azuis e Jatós Azuis, que estão relacionados com a atividade elétrica da Atmosfera.



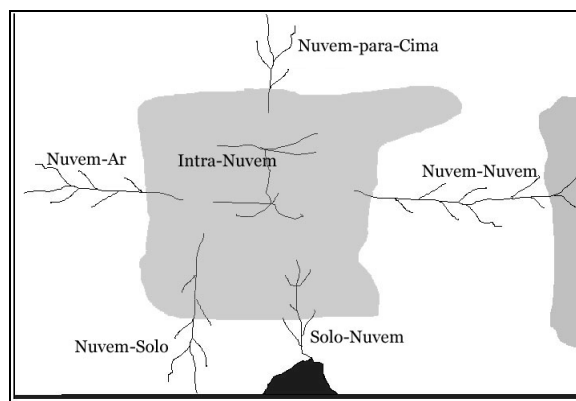


Figura 11 – Tipos de relâmpagos.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 80)

Conforme podemos ver nas classificações atribuídas aos relâmpagos, estes podem ser divididos em dois grandes grupos, os relâmpagos que envolvem o solo, ou relâmpagos de solo e relâmpagos que envolvem apenas a Atmosfera, ou relâmpagos atmosféricos ou de céu. Os relâmpagos atmosféricos são menos conhecidos do que os que envolvem o solo, em função da dificuldade de se fazer medições em altitude, ao fato do impacto destes relâmpagos sobre o homem e suas atividades ser menor, porém atualmente muitas pesquisas estão abordando estes relâmpagos em função das possíveis conseqüências que estes podem ocasionar. Outra divisão que se aplica aos relâmpagos se refere a sua polaridade, podendo ser positivos, negativos ou positivo-negativos, conforme a Figura 12.

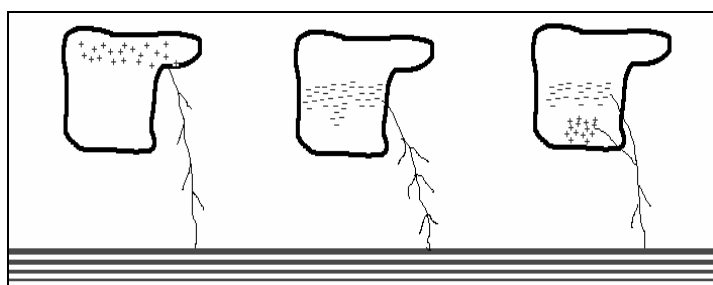


Figura 12 – Polaridade dos relâmpagos, da esquerda para a direita: Positivo, negativo e negativo-positivo respectivamente.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (1996, p. 49; 2000, p. 79)

### 3.6.1. Os relâmpagos Nuvem-Solo – NS

São os mais estudados, visto suas implicações ao homem e suas atividades. Quanto a polaridade podem ser positivos e negativos. Quando este tipo de relâmpagos transfere carga negativa, elétrons, para o solo são denominados negativos e se transferirem cargas positivas são denominados positivos.

Os relâmpagos Nuvem-Solo começam com a quebra da rigidez preliminar, (*breakdown*; Miranda, 2001), entre os centros de cargas opostas, intercalado por um período intermediário, e após formando o líder escalonado. Este se dirige ao solo, formando uma série de pequenos segmentos<sup>9</sup> de 30 a 100 metros, sendo que o líder escalonado se dirige para locais onde a resistência do ar é menor. É justamente por formar estes segmentos que o

<sup>9</sup> Em média o ângulo formado entre dois segmentos adjacentes é de 10° a 20° (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

relâmpago assume uma aparência tortuosa. Os relâmpagos Nuvem-Solo geralmente têm uma duração entre 0,1 a 2 segundos, em média é de 0,25 segundos. Percorrem grandes caminhos dentro da nuvem e ao saírem costumam apresentar ramificações de cima para baixo, muitas vezes não visíveis ao olho humano.

A porcentagem de relâmpagos positivos em relação a negativos depende de uma série de fatores, como a latitude, que vai influenciar na altura dos centros de carga positivos do topo das nuvens, sendo que quanto menor a latitude, maior será a altura destes centros e conseqüentemente menor será o número de descargas atmosféricas positivas, a estação do ano, que esta relacionada às condições meteorológicas de cada estação de forma que no inverno as cargas positivas do topo estão mais próximas do solo do que no verão, facilitando a ocorrência de relâmpagos positivos. Outro fator que influencia bastante é a variação dos ventos horizontais com a altura, sendo que quanto maior esta variação, maior será o deslocamento entre o centro de cargas positivas e o de cargas negativas, fazendo com que os relâmpagos que antes se dirigiria para o centro de cargas negativas, facilitado pela menor resistência dielétrica do ar, passe a atingir o solo, conforme a Figura 13. Ainda tem a dissipação das nuvens de tempestade, que se explica pela diminuição das cargas negativas, carregadas pela chuva, o que faz com que as cargas positivas não fiquem mais blindadas pelas cargas negativas subjacentes, facilitando a ocorrência de relâmpagos positivos (Pinto Jr. e Pinto 1996, p. 51 2000, p. 78; Magono 1980, p. 209, *apud* Gomes, 2003, p. 49; Naccarato, 2001, p. 35).

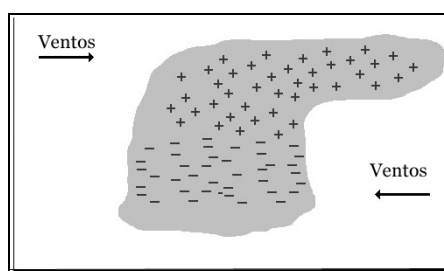


Figura 13 – Variação do número de relâmpagos positivos em função da variação horizontal dos ventos com a altura.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. E Pinto (1996, p. 51; 2000, p. 82)

Conforme Naccarato (2001, p. 35) baseado em Uman (1987): “Os relâmpagos NS são em sua maioria negativos, representando em média 90% do total”. O restante dos relâmpagos são positivos, completando os 100% que envolvem o solo. Mas a porcentagem de relâmpagos positivos varia muito, podendo às vezes até superar o número de relâmpagos negativos. Esta variação esta relacionada ao tipo de tempestade, sua fase, presença de montanhas altas, presença de torres ou hastes metálicas, entre outros. Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 78): “Evidências sugerem que medidas de relâmpagos Nuvem-Solo em torres metálicas tendam a favorecer a ocorrência de relâmpagos nuvem-solo negativos em detrimento de relâmpagos positivos, ao passo que medidas por sistemas de detecção de relâmpagos tendam a produzir um efeito oposto, devido a contaminação dos relâmpagos positivos por relâmpagos Intra-Nuvem”.

### 3.6.1.1. Relâmpagos Nuvem-Solo negativos

Os relâmpagos Nuvem-Solo negativos começam com a quebra da rigidez preliminar entre o centro de cargas negativas e o pequeno centro de cargas positivas na base

da nuvem, onde em função do campo elétrico existente dentro da nuvem, entre 100 e 400 KV/m, mesmo sendo inferior a resistência dielétrica do ar na nuvem, estimado em 1000 KV/m, é rompido formando uma pequena descarga luminosa conhecida como líder escalonado. Em consequência da quebra da rigidez preliminar são gerados uma grande quantidade de pulsos eletromagnéticos unipolares e bipolares, com predomínio dos bipolares, que em média apresentam uma duração de 50  $\mu$ s intercalados por intervalos de 100  $\mu$ s. O detalhamento quanto a origem destes pulsos ainda não é bem conhecido. Este líder escalonado se dirige ao solo a uma velocidade de 400.000 Km/h ao longo do canal do relâmpago. O canal por onde flui a carga apresenta um diâmetro em torno de 5 cm e um canal luminoso ao redor de 1 a 10 metros (Pinto Jr. e Pinto 2000; Gomes 2003). Pelo fato deste líder escalonado carregar cargas negativas, é denominado líder negativo. A corrente transportada é de algumas centenas de amperes, A, com pulsos de 1000 A em cada etapa de 30 a 100 m e tempo médio de 1  $\mu$ s, com uma pausa de 50  $\mu$ s. Conforme o líder escalonado negativo se propaga em segmentos em direção ao solo, campos eletromagnéticos são produzidos em cada etapa (Pinto Jr. e Pinto 2000). A carga total carregada pelo líder escalonado é em média de 10 coulombs e chega ao solo em aproximadamente 20 ms, podendo este tempo variar com a tortuosidade do canal.

Em decorrência das cargas contidas na Atmosfera ao redor do canal e em função da quantidade de carga contida no canal, o relâmpago pode apresentar ramificações (Pinto Jr. e Pinto 2000), podendo o líder escalonado tomar vários novos caminhos, contudo geralmente apenas um toca o solo. O número de ramificações vai depender da carga presente no canal, quanto maior a carga, maior parece ser o número de ramificações.

À medida que o líder escalonado se aproxima do solo, intensos campos elétricos são criados e, quando ele está a uma distância entre 10 e 200 metros, este potencial elétrico corresponde à cerca de 100.000.000 volts. Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 86): “Este campo causa a quebra da rigidez do ar em um ou mais pontos no solo, fazendo com que uma ou mais descargas positivas ascendentes, denominadas descargas conectantes, saiam do solo”. A velocidade com que a descarga conectante ascende é estimada em 40.000.000 Km/h, onde em cerca de 30% dos casos, as descargas saem em mais de um ponto do solo. Geralmente estas descargas conectantes saem de objetos pontiagudos, como árvores, montanhas, prédios, torres, podendo até mesmo sair de pessoas. Uma outra definição denominada de distância de atração, atribuída a distância entre o objeto agudo e o líder escalonado, foi pela primeira vez utilizada por Benjamin Franklin. Esta distância pode variar de 10 a 200 metros, onde, por convenção, na metade desta distância tem-se a conexão do líder escalonado e da descarga conectante. Em geral, quando maior a carga dos relâmpagos, maior tende a ser a distância de atração, visto que a rigidez do ar será quebrada antes. Uma aproximação entre uma descarga conectante e líder escalonado pode ser vista na Figura 14.

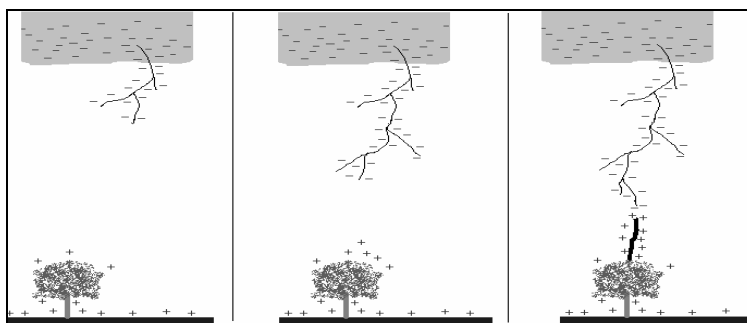


Figura 14 – Líder escalonado e descargas conectante para um relâmpago NS negativo.

Fonte: Adaptado de Iribarne e Cho (1980, p. 142) *apud* Gomes (2003, p. 43)

No momento da conexão toda a carga contida no canal flui para o solo, formando um intenso clarão que se propaga para cima do canal e para suas ramificações, a uma velocidade de cerca de 400.000.000 Km/h, denominado de descarga de retorno. Porém esta velocidade varia, sendo máxima no local do encontro entre o líder escalonado e a descarga conectante e diminui para cerca de 50% na base da nuvem. A duração média desta descarga de retorno é de 100  $\mu$ s. A intensidade e a frequência de luz emitida, estão relacionadas com as características da Atmosfera no local da descarga atmosférica, como a temperatura, a pressão e a densidade de elétrons no canal (Pinto Jr. e Pinto, 2000). A Figura 15 mostra como os eventos sucedem num relâmpago negativo com duas descargas de retorno.

Em 1960 foi sugerido que à medida que o líder escalonado se move em direção ao solo, campos eletromagnéticos são criados e um líder que carrega cargas positivas se move dentro da nuvem para cima, processo denominado de líder bidirecional. Atualmente as pesquisas têm sugerido a veracidade deste processo, sendo observados em relâmpagos artificiais provocados por aviões (Pinto Jr. e Pinto 2000).

Quando vemos a luz de um relâmpago é porque a descarga de retorno provocou emissões contínuas e discretas de átomos, moléculas e íons de nitrogênio, hidrogênio e oxigênio, que quando excitados e ionizados emitem luz. Seu movimento para cima é porque as partículas próximas ao solo se movem primeiro em direção a superfície, sendo seguidos pelas partículas imediatamente superiores. As ramificações dos relâmpagos geralmente não são tão brilhantes porque um número menor de elétrons passa por estas. A variação de cores dos relâmpagos está relacionada à presença de certos elementos na atmosfera entre o local do relâmpago e o observador. Estas cores podem ser verde, amarelo, laranja, roxo.

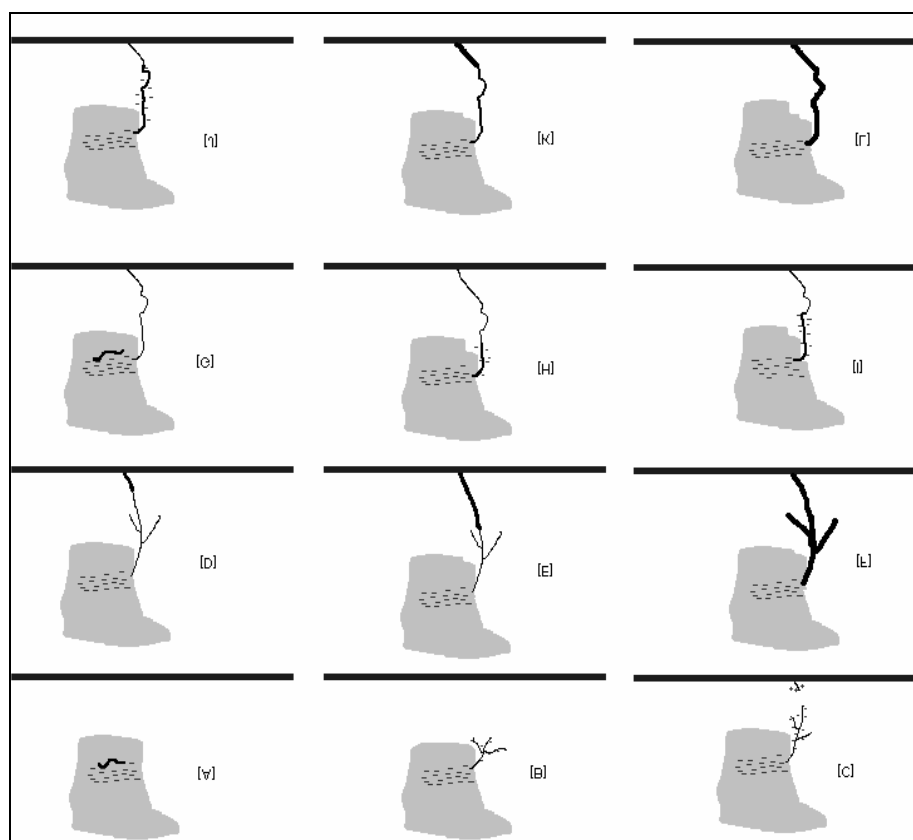


Figura 15 – Seqüência temporal de eventos de um relâmpago nuvem-solo negativo com duas descargas de retorno.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e pinto (2000, p. 84)

Em média é transferida para o solo uma corrente de pico de 30 KA a 40 KA em uma descarga NS negativa. No entanto estas correntes podem variar de poucos KA a centenas de KA. Os valores máximos já registrados foram de 280KA, e por meio da radiação se estimou valores superiores a 400 KA Há indícios de que a corrente de pico das descargas de retorno seja maior em regiões de baixas latitudes e altitudes. A corrente de pico de uma descarga de retorno geralmente é atingida em 10  $\mu$ s, caindo para a metade em 100  $\mu$ s, permanecendo por mais 200  $\mu$ s a 400  $\mu$ s. Em torno dos 50  $\mu$ s se percebe um segundo aumento da corrente, relacionado a descarga corona, que é consequência da formação de cargas ao redor do canal do relâmpago e que se dirigem para o canal. A média de carga transferida para o solo pelo relâmpago NS negativo é de 10 C, podendo ser superior a 20 C (Pinto Jr. e Pinto, 2000; Gomes, 2003). O comportamento da corrente de pico de uma descarga de retorno em um relâmpago NS pode ser visto na Figura 16. Uma segunda máxima na corrente de pico do relâmpago em cerca de 50  $\mu$ s pode ser vista na Figura 16. Este fato é atribuído a corrente corona da cargas formadas ao redor do canal do relâmpago (Gomes, 2003).

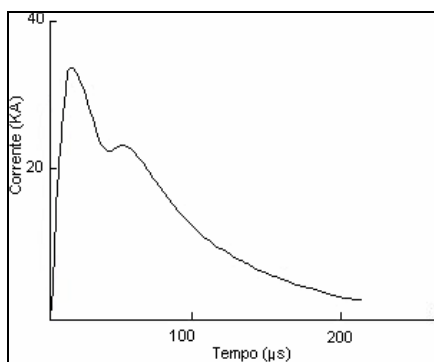


Figura 16 – Comportamento da corrente de pico em um relâmpagos NS negativo.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 91)

Os campos eletromagnéticos gerados por estes relâmpagos são tipicamente bipolares, a cerca de 20 Km, sendo que para distâncias maiores que 50 Km, a atenuação sofrida pela radiação ao se propagar sobre a superfície passa a ser notável, fazendo com que a amplitude diminua e seja geralmente um campo unipolar. A Figura 17 ilustra o comportamento da radiação a distâncias maiores que 20 Km, de uma descarga de retorno de um relâmpago NS negativo.

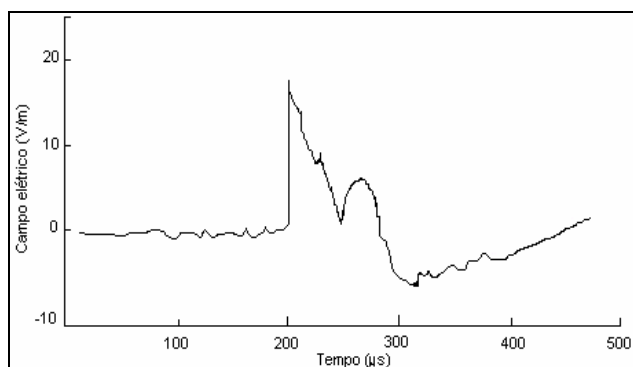


Figura 17 – Radiação para distâncias superiores a 20 km de uma descarga de retorno de um relâmpago NS negativo.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 93)

A radiação produzida por um relâmpago NS negativo cobre uma larga faixa de frequência, desde poucos hertz até centenas de megahertz além do visível. Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 104): “A radiação na faixa até centenas de megahertz é produzida pela aceleração de elétrons presentes dentro do canal do relâmpago, e representa cerca de 0,01% da energia do relâmpago, enquanto que a radiação no visível é devida à ionização e excitação dos átomos e das moléculas do ar, e representa cerca de 1% da energia do relâmpago”. A Figura 18 mostra a radiação de um relâmpago NS negativo em três diferentes faixas de frequência.

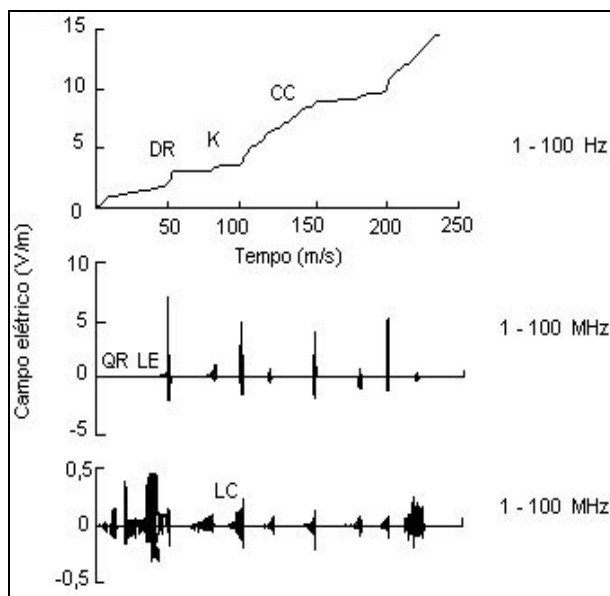


Figura 18 – Radiação de um relâmpago NS negativo em 3 faixas de frequência, indicando a radiação de diversas etapas: Quebra da rigidez (QR), líder escalonado (LE), descarga de retorno (DR), Descarga K (K), corrente contínua (CC) e Líder contínuo (LC).

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 105)

A formação de um líder(es) contínuo(s) pode ocorrer ou não em um relâmpago negativo NS após a primeira descargas de retorno. Estes líderes partem de uma região próxima a da origem do líder escalonado. O líder contínuo apresenta uma duração de 1 ms e têm uma velocidade média de 40.000.000 m/h. Esta alta velocidade é facilitada pela existência do canal ionizado. Muitas vezes o líder contínuo desvia do canal ionizado, devido aos ventos e/ou decaimento do canal ionizado, tomando outro caminho, sendo então denominado de líder contínuo escalonado, tendo um comportamento similar ao do líder escalonado. Quando isto ocorre, tem-se a formação dos relâmpagos bifurcados. Os relâmpagos bifurcados ocorrem em cerca de 50% dos relâmpagos NS negativos múltiplos. Uma representação de um relâmpago bifurcado pode ser vista na Figura 19. Todo líder contínuo, ao se aproximar do solo, faz com que uma nova descarga conectante salte do solo, dando origem a uma nova descarga de retorno. Quando se tem apenas uma descarga de retorno, o relâmpago é denominado simples. No entanto, quando apresenta duas ou mais descargas de retorno, é chamado de relâmpago múltiplo, caracterizando o parâmetro multiplicidade (Pinto Jr. e Pinto 1996, 2000; Gomes, 2003; Naccarato 2001; Miranda, 2001). Em geral as descargas após a primeira descarga apresentam uma velocidade<sup>10</sup> 10 vezes maior que o líder escalonado e conforme Miranda (2001, p. 22): “20 vezes mais lenta do que a

<sup>10</sup>  $2 \times 10^6$  m/s

primeira descarga de retorno”. Além disto, pode ocorrer às vezes uma corrente contínua, com cerca de 100 A, por algumas dezenas de segundos, fluindo pelo canal ionizado após a(s) descargas de retorno (Miranda, 2001). Em média 20% dos relâmpagos NS negativos são simples, e os demais múltiplos, apresentando uma maior frequência de 3 a 6 descargas de retorno (Pinto Jr. e Pinto 1996, 2000; Gomes, 2003).

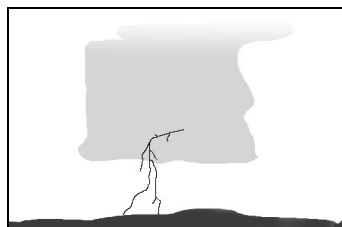


Figura 19 – Relâmpago bifurcado.

Fonte: Adaptado de: Pinto Jr. e Pinto

Outros dois processos que se verificam nos relâmpagos NS negativos múltiplos são os processos J e K. O primeiro se refere à movimentação lenta de cargas de algum lugar dentro da nuvem para o local de partida do primeiro líder escalonado, fazendo com que o campo elétrico apresente variações lentas. O processo K se refere à rápida movimentação de cargas para o local de origem do líder escalonado, causando variações rápidas no campo elétrico, sob forma de pulsos, que são denominados de variações K. Estas variações são atribuídas ao choque de cargas opostas dentro da nuvem, provocando as descargas K (Pinto Jr. e Pinto, 2000; Gomes, 2003; Miranda, 2001). A duração média destes processos é de algumas dezenas de ms, apresentando picos de campo elétrico dez vezes menores que os de uma descarga de retorno. Um outro processo que pode acompanhar a corrente contínua é o chamado componente M, que se refere a um momentâneo aumento da luminosidade do canal por 1 ms em consequência de um momentâneo aumento de corrente. Para se referir as variações de campo provocado pela componente M, usamos o termo variações M.

### 3.6.1.2. Relâmpagos Nuvem-Solo positivos

A grande diferença destes relâmpagos em detrimento aos NS negativos é que os NS positivos têm início no centro de cargas positivas. Deste centro parte um líder que não apresenta etapas como os NS negativos, e sim uma luminosidade contínua, com variações de intensidade. Estes relâmpagos transferem cargas positivas para o solo<sup>11</sup> (Pinto Jr. e Pinto, 2000). O centro de cargas onde o líder escalonado tem origem pode ser o centro superior, próximo ao topo, ou o pequeno centro na base da nuvem. Na maioria das vezes os relâmpagos NS positivos apresentam apenas uma descarga de retorno que, segundo Gomes (2003, p. 47) é “frequentemente acompanhada de uma fraca corrente de longa duração, chamada de corrente contínua”. Em função da longa duração da corrente contínua, apesar de fraca corrente, pode transferir grande parte da energia da nuvem para o solo.

Apesar de representarem apenas 10% dos relâmpagos NS, são bastante destrutivos, fato relacionado à longa corrente contínua e uma maior intensidade desta em relação aos relâmpagos NS negativos. Provocam a maioria dos incêndios, sendo também por isto conhecidos como relâmpagos quentes.

Os relâmpagos NS positivos sofrem grande influência das variações sazonais do

<sup>11</sup> O que equivale à transferência de cargas negativas do solo para o centro de cargas positivas.

clima, da variação da latitude e das variações dos ventos horizontais com a altura. Assim, quanto mais baixa e inclinada for a nuvem de tempestade, maior a tendência de que ocorram relâmpagos NS positivos, ao passo que nuvens de grandes extensões verticais propiciam uma maior ocorrência de relâmpagos IN. As variações sazonais dos relâmpagos NS positivos são bem verificadas em tempestade de inverno nos EUA e Japão, pois os centros de cargas estão mais baixos (Gomes, 2003). Um outro fator colocado por Naccarato (2001), se refere à fase de dissipação da nuvem de tempestade, onde as cargas negativas são gradualmente eliminadas pela chuva. Assim a blindagem negativa abaixo do centro de cargas positivas é eliminada, aumentando as possibilidades de ocorrência de relâmpagos NS positivos.

Um grande problema para se estudar os relâmpagos NS positivos se refere à grande influência que os sistemas de detecção de relâmpagos sofrem dos relâmpagos IN, onde não é possível diferenciar todos os relâmpagos NS positivos dos IN. A radiação emitida pela descarga de retorno dos relâmpagos NS positivos apresenta uma forma de onda similar a dos NS negativos, porém, com sentido contrario (Pinto Jr. e Pinto, 2000). A Figura 20 representa a típica radiação associada a uma descarga de retorno de um relâmpago NS positivo.

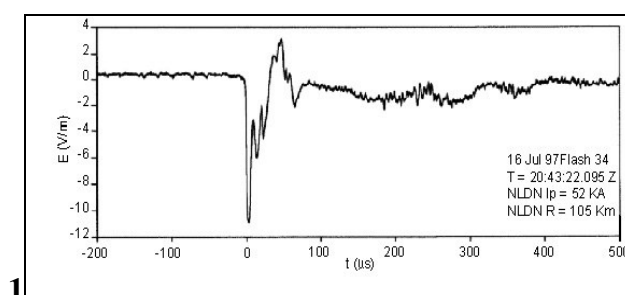


Figura 20 – Radiação típica associada um relâmpago NS positivo.

Fonte: Adaptado de Naccarato (2001, p. 135)

### 3.6.2. Relâmpagos Solo-Nuvem, SN

Os relâmpagos Solo-Nuvem, SN, geralmente têm início em postos mais elevados, como árvores, edifícios, torres, montanhas, entre outros. O líder escalonado sai destes pontos e se dirige a nuvem, podendo atingir o centro de cargas positivo ou negativo. Quando atingir o centro negativo, é denominado de relâmpago NS negativo, sendo que este representam 80% dos relâmpagos SN. Quando o centro positivo é atingido, é chamado de relâmpagos SN positivo, representando 20% dos casos. Nos SN negativos cargas negativas são transferidas para o solo, e nos SN positivos cargas negativas se dirigem ao centro de cargas positivas da nuvem. A Figura 21 mostra como se estrutura um relâmpago SN positivo (a) e negativo (b).

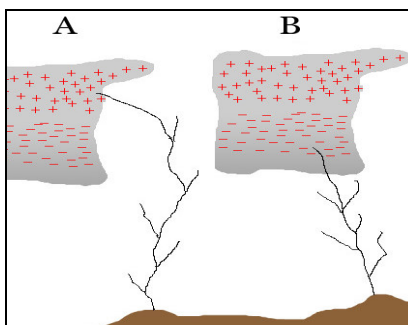


Figura 21 – Relâmpago SN positivo (a) e relâmpagos SN negativo (b).

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 108)



A última proposição feita com base em relâmpagos artificiais sugere que os relâmpagos SN negativos tenham origem em um líder positivo, inicialmente escalonado, que segue em direção ao centro de cargas negativas. Este líder geralmente é seguido por uma corrente contínua de centenas a 1 KA, sem descargas de retorno. Mas, conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 115): “Em 20 a 50% dos casos, (...) o líder é seguido por um líder contínuo da nuvem para o solo e uma descarga de retorno para cima”. Este processo pode se repetir várias vezes, com uma média de 2 a 3 descargas de retorno, com intensidade menor que as descargas de retorno dos relâmpagos NS. Os relâmpagos SN positivos iniciam com um líder negativo, que segue para o centro de cargas positivas da nuvem. Este líder é geralmente seguido de uma corrente contínua com pulsos sobrepostos, mas não apresenta descargas de retorno. Os líderes positivos e principalmente negativos, dos relâmpagos SN podem dar origem a relâmpagos mistos. Isto acontece quando um destes líderes encontra um líder de carga oposta, movendo-se da nuvem para o solo. A corrente de pico média de um relâmpago SN negativo que apresenta descarga de retorno é de 10 KA e dos positivos em média é de 3 KA, isto porque geralmente não apresenta descargas de retorno. A carga total transferida para o solo por um relâmpago SN negativo é em média de 23 C e os positivos 26 C. Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 115): “Relâmpagos mistos, por sua vez, costumam apresentar picos de corrente superiores a 50 KA e decaimento da corrente mais lento do que em relâmpagos nuvem-solo, transferindo uma carga da nuvem para o solo em trono de 80 C, valor superior à carga transferida em relâmpagos Nuvem-Solo e Solo-Nuvem”. Este fato parece estar relacionado a longos canais na Atmosfera. A Figura 22 mostra a seqüência temporal de eventos de um relâmpago SN negativo com uma descarga de retorno.

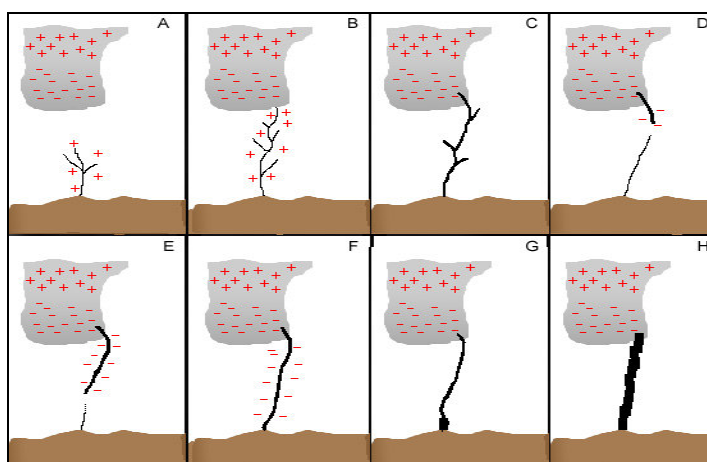


Figura 22 – Seqüência temporal de eventos durante um relâmpago SN negativo com uma descarga de retorno.

Fonte: Adaptado de Pitno Jr. e Pinto (2000, p. 116)

Conforme Gomes (2003, p. 50): “A maioria dos relâmpagos Solo-Nuvem não apresentam descargas de retorno, mas corrente continua com baixa intensidade de corrente em torno de centenas de ampères e de longa duração cerca de dezenas a centenas de ms, sobreposta a pulsos de corrente de alguns KA, embora às vezes ocorram com a presença de líderes contínuos acompanhados de descargas de retorno similares aos nuvem-solo negativos”.

Há evidências que sugerem que os relâmpagos IN sejam responsáveis pela ocorrência dos SN, ou seja, provocariam a elevação do campo elétrico, desta forma a rigidez dielétrica do ar diminui, facilitando a ocorrência dos relâmpagos SN (Pinto Jr. e Pinto, 2000;

Gomes, 2003). Por fim, os relâmpagos SN positivos associados a complexos convectivos de mesoescala geralmente apresentam muitas ramificações horizontais, sendo então denominados de relâmpagos aranhas.

### 3.6.3. Relâmpagos Intra-Nuvem, IN

Os relâmpagos Intra-Nuvem, IN, representam de 30% a 100% dos relâmpagos em uma tempestade, sendo que representam 80% do total de relâmpagos. Apesar de muito frequentes, são pouco conhecidos, visto que é impossível distinguir tais relâmpagos a partir de medidas de radiação do solo (Pinto Jr. e Pinto, 2000). Os IN ocorrem quando a rigidez dielétrica dentro da nuvem é rompida. Geralmente o canal tem início no centro de cargas negativas, através de um líder contínuo, sobreposto de pulsos de corrente e vai até o centro de cargas positivas, ou seja, um líder contínuo sai do centro negativo em direção ao positivo, a uma velocidade de 40.000 Km/h. O canal inicia-se com diversas ramificações no centro de cargas negativas, se dirige para o centro positivo e novamente cria diversas ramificações. Estes relâmpagos não apresentam descargas de retorno.

A radiação emitida pelos relâmpagos IN é centrada na faixa dos 100 KHz, diferindo dos NS que apresentam emissão centrada na faixa de 10 KHz, onde esta diferença é atribuída a diferente geometria do canal. A radiação é caracterizada por apresentar pulsos unipolares e pulsos bipolares. A radiação típica associada a relâmpagos IN pode ser vista na Figura 23.

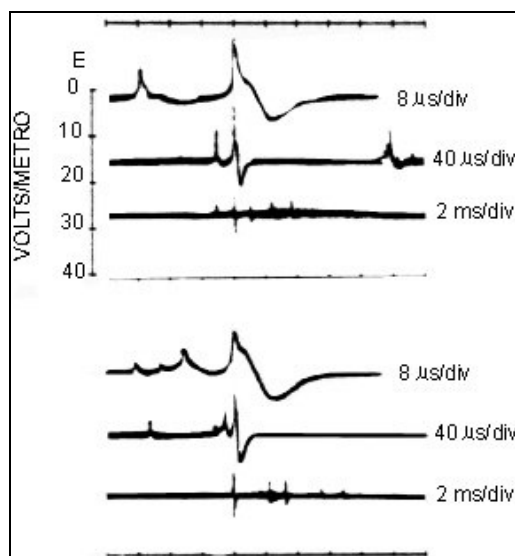


Figura 23 – Radiação típica associada a um relâmpago IN.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 113)

Os relâmpagos IN podem sair e retornar para dentro da nuvem, provocando clarões, sendo que facilmente são confundidos com relâmpagos da nuvem para o ar, entre nuvens e da nuvem para cima. Este tipo de relâmpago geralmente é o primeiro a ocorrer em uma tempestade, antecedendo em minutos os NS e SN. Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 110): “...costumam também apresentar aumento da atividade durante os períodos que antecedem tornados em tempestades tornádicas, diferentemente dos relâmpagos Nuvem-Solo que podem apresentar alta ou baixa atividade nestes períodos”. Uma outra característica que recentes pesquisas têm mostrado é a ocorrência de relâmpagos de pequena extensão e alta

intensidade, comparada a dos relâmpagos NS, em tempestades severas, associadas a furacões, conhecidas como descargas compactas, com pulsos médios entre 10 e 20  $\mu$ s de duração. Sua ocorrência geralmente antecede um relâmpago IN normal (Pinto Jr. e Pinto, 2000). Um processo comum nos relâmpagos IN são as descargas semelhantes às variações K, que ocorrem quando o líder encontra pequenos centros de cargas com polaridade oposta ao longo de seu caminho. Provoca de 5 a 6 descargas K, onde cada descarga K tem uma duração de 10 ms com baixa intensidade. Para diferenciar os relâmpagos IN dos NS usa-se a largura de pulso, porém a forma de onda da radiação também apresenta diferenças quanto ao tempo de subida. Os valores de campo elétrico são utilizados para se definir a polaridade e intensidade das correntes de pico, baseado em modelos matemáticos (Naccarato, 2001; Gomes, 2003).

#### **3.6.4. Relâmpagos da Nuvem para o Ar, NA**

A exemplo dos relâmpagos EN, estes não envolvem o solo. Tem origem num centro de cargas dentro da nuvem e se dirigem para pequenos centros de carga existentes na Atmosfera. Estes pequenos centros têm sua origem relacionada ao campo elétrico criado pelas cargas existentes dentro da nuvem, além de outros fatores.

#### **3.6.5. Relâmpagos Entre-Nuvens, EN**

Os relâmpagos entre nuvens são aqueles onde um líder parte de um centro de cargas de uma nuvem em direção a um centro de cargas opostas de outra nuvem. Os processos associados a este tipo de relâmpagos são pouco conhecidos, porém acredita-se ser parecidos com os IN. Podem estar associados a centros de carga presentes na Atmosfera, que atraem o líder escalonado, levando-o ao centro de carga oposta da outra nuvem.

#### **2.6.6. Relâmpagos da Nuvem para Cima, NC**

Os relâmpagos da nuvem para cima, NC, são pouco conhecidos, porém, pesquisas recentes têm mostrado que estes fenômenos não são tão raros como se imaginava. Sua origem é um centro de cargas dentro da nuvem sendo que se dirige para a Ionosfera.

#### **3.6.7. Outros tipos de relâmpagos naturais**

Além dos relâmpagos descritos até o momento, existem outros que são mais raros como os relâmpagos em faixa, com sucessivas interrupções, esféricos e bipolares.

##### **3.6.7.1. Relâmpagos com sucessivas interrupções**

São relâmpagos que se apresentam como uma linha tracejada, com sucessivas interrupções. Tem origem com um canal contínuo, a semelhança dos relâmpagos NS normais, com interrupções no final (Pinto Jr. e Pinto, 2000). Sua explicação consiste em duas teorias, uma que teoriza que o caráter tracejado é consequência de efeitos visuais gerados por gotas de chuva, entre o observador e os relâmpagos. Assim, dependendo da posição do observador, certas partes do canal do relâmpago não podem ser vistas. Uma segunda teoria atribui as interrupções ao fato do canal apresentar partes iluminadas e outras não em tempos diferentes, devido a não homogeneidade da Atmosfera. A Figura 24B mostra um esquema de um relâmpago com sucessivas interrupções.

### 2.6.7.2. Relâmpagos em forma de faixa

Estes relâmpagos apresentam um alargamento do canal, provocado pela ação do vento. Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 120): “Efeito semelhante pode ser obtido movendo-se lentamente uma máquina fotográfica ao tira-se uma fotografia de um relâmpago”. A Figura 24A mostra um esquema de um relâmpago em faixa.

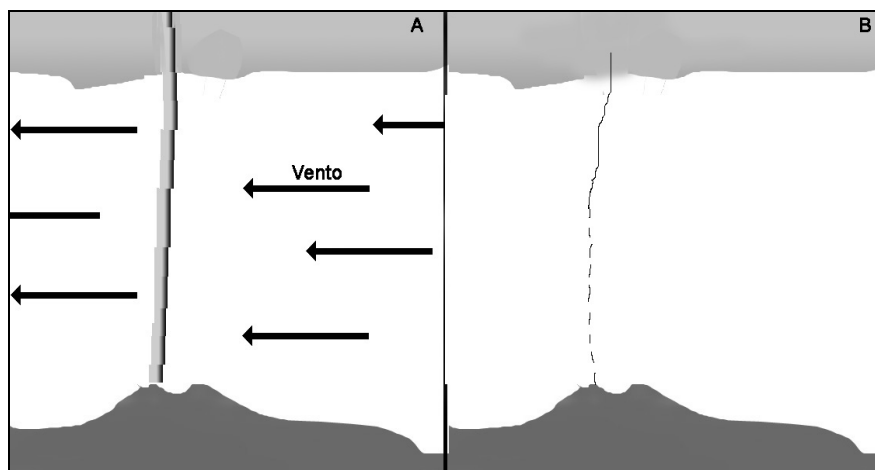


Figura 24 – Relâmpago em faixa (A) e relâmpagos tracejado (B).

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 122)

### 3.6.7.3. Relâmpagos esféricos

O conhecimento sobre este tipo de relâmpagos é proveniente de relatos de pilotos e outras pessoas, ainda não tendo sido fotografados. Os relatos datam de mais de VI século, porém ainda são pouco conhecidos. Seu aparecimento geralmente é próximo a nuvens de tempestade, com caminhos erráticos, podendo ou não estar próximo ao solo. Seu diâmetro varia de 1 cm a 100 cm (Wessel-Berg, 2003), com cores variadas, vermelho, laranja, branco, vermelho e laranja (Pinto Jr. e Pinto, 2000). Apresenta movimentos desde lentos, rápidos ou não se movimenta, além de poder apresentar movimentos de rotação. Pode ou não apresentar ruídos na forma de estalos. Sua duração média é de 4 segundos, variando de 1 segundo a mais de 1 minuto (Wessel-Berg, 2003; Pinto Jr. e Pinto, 2000). Acredita-se que a origem da energia destes relâmpagos seja a energia eletrostática associada às tempestades, como teorizam muitas explicações. A dinâmica dos processos a longo de sua existência não são explicados, tendo diversas hipóteses, baseada em reações químicas, nucleares, interação entre relâmpagos NS com moléculas na Atmosfera e até teorias de plasma (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

### 3.6.7.4. Relâmpagos bipolares

Apesar de recentes pesquisas no inverno do Japão terem mostrado que os relâmpagos bipolares representam 20% dos relâmpagos em tempestades, são considerados uma forma rara de relâmpagos. Eles apresentam corrente tanto positiva como negativa. Sua origem na maioria das vezes estaria ligada a descargas de retorno negativas. Conforme Pinto Jr e Pinto (2000, p. 123): “Acredita-se que estes relâmpagos possam ser uma forma rara (cerca de 5%) de relâmpagos SN”. A Figura 25 mostra a corrente típica de um relâmpago bipolar.

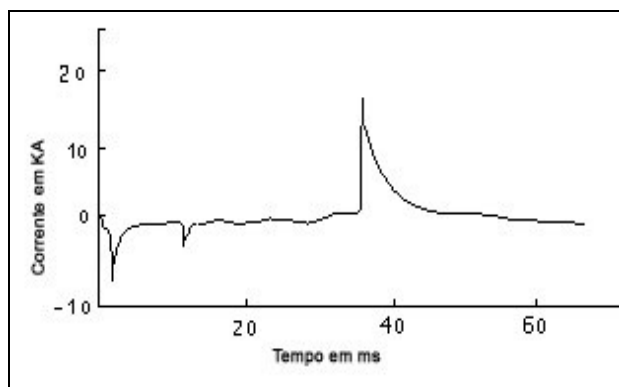


Figura 25 – Corrente típica de um relâmpago bipolar.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 124)

### 3.6.8. Relâmpagos artificiais

São todos aqueles relâmpagos onde a ação do homem é fundamental para que as descargas ocorram. Assim, podem ser provocados por aviões, foguetes e em estrutura elevadas. Atualmente uma técnica bastante utilizada consiste em mandar um pequeno foguete<sup>12</sup> em direção à tempestade no momento em que o campo elétrico do solo estiver bastante alto<sup>13</sup>. Esta técnica foi utilizada pela primeira vez na década de 60, com um foguete lançado a partir de um navio. Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 125): “O foguete sobe a uma velocidade de 200 m/s desenrolando um fio condutor de aço ou cobre coberto com kevlar de 0,2 mm de diâmetro preso ao solo”. Quando o foguete atinge entre 200 e 300 metros de altura, um líder sai do foguete em direção a nuvem, facilitado pela corrente corona, dando início a um relâmpago denominado relâmpago induzido.

A polaridade do líder que sai do foguete vai depender da carga predominante na nuvem. Quando a carga predominante é negativa, um líder positivo sai do foguete, inicialmente sob forma escalonada e em seguida forma quase contínua. Ao atingir o centro de cargas opostas da nuvem, duas situações podem ocorrer: Um líder contínuo sair da nuvem em direção ao solo, seguido de uma descarga de retorno, estes podem ser seguidos de novos líderes e descargas de retorno, conforme pode ser visto na Figura 26; A outra situação corresponde a não ocorrência de descargas de retorno, somente uma corrente contínua, com pulsos sobrepostos (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

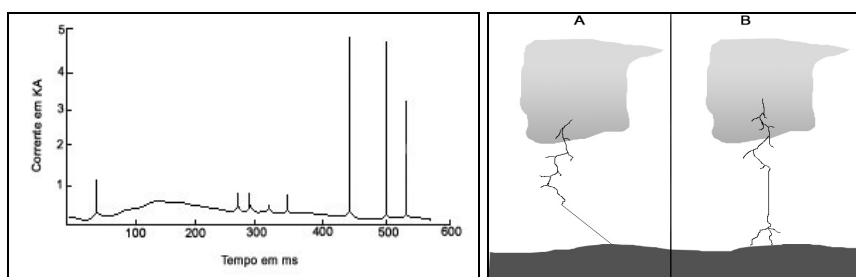


Figura 26 – A direita esta representada a corrente contínua de relâmpago induzido. A esquerda (A) Método clássico; (B) Método de altitude.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 127 e 129).

<sup>12</sup> Medindo 80 cm\

<sup>13</sup> 7 a 10 KV/m normalmente são o suficiente para provocar um relâmpago (Pinto Jr. e Pinto, 2000)

Quando há uma predominância de cargas positivas na nuvem, um líder negativo sai do foguete, com etapas semelhantes de um líder escalonado. Geralmente não apresenta descargas de retorno somente um corrente contínua com pulsos sobrepostos. Pelo fato dos relâmpagos induzidos apresentarem longa corrente contínua, geralmente transferem mais carga para o solo do que um relâmpago NS. O método descrito até o momento se refere ao método clássico de obter relâmpagos artificiais, apresentando uma trajetória reta na parte final, atribuída à presença do fio condutor, que é vaporizado, mantendo um canal ionizado. Um outro método adotado posteriormente, denominado de método de altitude, consiste em isolar o fio da superfície, onde o relâmpago após percorrer o fio toma caminhos diferentes, conforme pesquisas têm mostrado, com a formação de líderes bidirecionais, com um líder positivo para cima e um negativo para baixo. A Figura 26B mostra da diferença entre os dois métodos de indução de relâmpagos.

No Brasil o primeiro relâmpago artificial foi obtido no final de 2000, como resultado de uma colaboração de instituições brasileiras, francesas e canadenses, conforme mostra a Figura 27 (ELAT/INPE/MCT).



Figura 27 – Primeiro relâmpago induzido no Brasil.

Fonte: ELAT/INPE/MCT

Pesquisas recentes nos EUA, Canadá e Japão têm tentado induzir relâmpagos com o uso de laser, na faixa do infravermelho e ultravioleta, com evidências de que os melhores resultados são obtidos na faixa entre estas duas. Outra técnica que vem sendo testada consiste em utilizar jatos de água. Ambas a técnicas vêm obtendo sucesso em laboratório, no entanto não se conseguiu obter relâmpagos por estes métodos. Uma outra hipótese sugere a indução por MUONS.

### 3.7. O TROVÃO

O estrondo que normalmente ouvimos após ver um clarão no céu, conhecido como trovão, tem sua origem relacionada ao aquecimento do canal dos relâmpagos e a correspondente dilatação. No núcleo do canal de um relâmpago, as temperatura podem chegar a 30.000 °C, isto equivale a 5 vezes a temperatura na superfície do Sol. Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 92): “... a densidade de elétrons chega a valores da ordem de  $10^{24}$  elétrons por  $m^3$  em cerca de 10  $\mu s$ , correspondendo a pressões superiores a dez vezes a pressão atmosférica ao nível do mar”. Devido a este rápido e grande aquecimento, o ar se expande rapidamente, formando uma onda de choque supersônica. Assim, grande parte da energia das descargas de retorno é gasta na expansão do ar a poucos metros do canal. Quando atinge distâncias maiores, esta onda de choque diminui de intensidade e é convertida em onda sonora, que se propaga em todas as direções (Pinto Jr. e Pinto, 1996 e 2000). A propagação da onda sonora, que representa apenas 1% da onda de choque, sendo que ao se propagar na Atmosfera é

atenuada, principalmente nas frequências maiores. A máxima intensidade de trovões causados por relâmpagos NS esta entre as frequências de 50 e 100 Hz, diferentemente dos relâmpagos nas nuvens, que apresentam um máximo na faixa entre 20 e 30 Hz. A intensidade de um trovão ouvido por uma pessoa varia com a intensidade dos relâmpagos, a distância entre a pessoa e o relâmpago, bem como de uma pessoa para outra. A duração de um trovão depende da distância máxima e mínima a que o ouvinte esta do local do relâmpago, conforme mostra a Figura 28. Os estalos que ouvimos são provocados pela tortuosidade do canal e pelas ramificações do relâmpago. Através do tempo transcorrido entre a ocorrência do relâmpago, marcada pelo clarão, e a chegada do som até os ouvidos do observador, pode-se estimar a distância do relâmpago, bastando para isto dividir o tempo registrado entre os fatos acima por 3. Este método apresenta uma margem de erro de 20%.

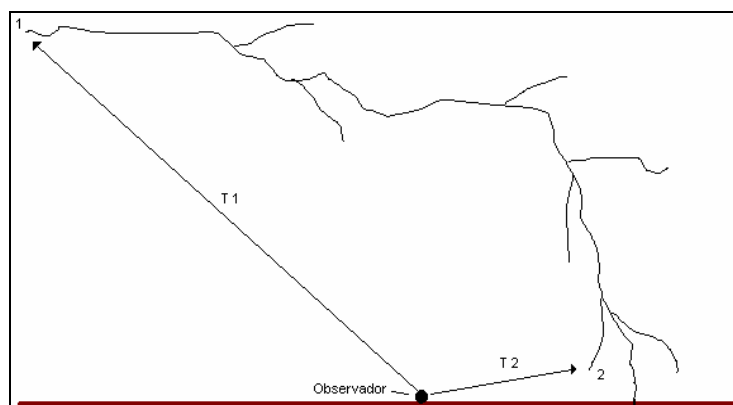


Figura 28 – Duração de um trovão.

Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 95)

Os relâmpagos normalmente são ouvidos a distâncias de 20 Km, porém já se registrou distâncias superiores a 100 Km. Esta distância esta relacionada diretamente a intensidade do relâmpago, mas também a temperatura e a variação do vento com a altitude. Assim, diminuindo a temperatura e a variação dos ventos com a altitude, a distância tende a diminuir porque a onda tende a subir.

Outra importante característica dos trovões é que eles apresentam uma parte de suas ondas sonoras na frequência abaixo dos 20 Hz, não podendo ser ouvido pelo ouvido humano. Esta energia é chamada de trovão infrasônico e sua propagação sofre menor atenuação, assim, se propaga por distâncias maiores, podendo ser utilizada como uma forma de monitoramento de tempestades, como as tempestades tornádicas. A origem destas ondas infrasônicas parece estar relacionada, conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 96), “... mudanças na energia eletrostática dentro da nuvem após a ocorrência do relâmpago”.

### 3.8. FENÔMENOS ELÉTRICOS DE ALTA ATMOSFERA

São chamados de fenômenos elétricos de alta Atmosfera porque ocorrem acima das nuvens de tempestade. Entre estes fenômenos, os mais conhecidos são os *sprites*, os E.L.V.E.S., os jatos azuis e os precursores azuis. Assim, nesta seção serão apresentados alguns comentários envolvendo estes fenômenos.

Os primeiros fenômenos ópticos acima das tempestades de relâmpagos, especialmente de sistemas convectivos de mesoescala, foram registrados em 1989, com câmeras de alta sensibilidade luminosa. A partir desta data estes fenômenos amplamente

registrados, porém antes de sua comprovação científica, relatos datados de antes de 1950 apontavam para a existência destes fenômenos, contudo não se sabia do que se tratava, consistindo em meras descrições de algo sem toponímia definida. As pesquisas evoluíram muito a partir dos instrumentos ópticos instalados em ônibus espaciais. Relatos de pilotos de aviões, imagens de vídeo, mostram que estes eventos são comuns de todos os continentes (Tavares, 1999). Além dos *sprites*, os E.L.V.E.S., os jatos azuis e os precursores azuis, outros fenômenos são verificados, como pulsos de raio- $\gamma$ , raios-X e o aquecimento da região D ionosférica, a partir de insistentes observações e o aperfeiçoamento dos instrumentos utilizados. À medida que se ampliava a quantidade de registros destes fenômenos, começaram a surgir as teorias para explicar estes eventos, que até hoje não são completamente conhecidos. A partir destes estudos, surgiram novas evidências sobre o Circuito Elétrico Atmosférico Global, CEAG (Tavares, 1999).

### 3.8.1. Circuito Elétrico Atmosférico Global, CEAG

O Circuito Elétrico Atmosférico Global – CEAG é formado pela carga existente na superfície da Terra e as cargas existentes na Ionosfera. Normalmente em uma condição atmosférica de tempo bom, o campo elétrico vertical da Atmosfera é orientado para o solo, sendo denominado de Campo Elétrico de Tempo Bom, cerca de 130 V/m. No entanto, quando da ocorrência de tempestades, este campo se inverte, passando a ser orientado para a Ionosfera e sendo denominado de Campo Elétrico Perturbado. Desta forma as tempestades seriam as responsáveis por manter o equilíbrio elétrico do Globo (Tavares, 1999). Conforme Faria (2003, p. 23): “O CEAG considera a superfície da Terra e a Ionosfera como superfícies equipotenciais, separadas pela Atmosfera, que é um meio levemente condutor”. Assim, se não houvesse esse processo o capacitor Terra-Ionosfera seria descarregado em menos de 7 minutos (Pinto Jr. e Pinto, 2000; Faria, 2003).

As cargas positivas da Ionosfera, inicialmente geradas por raios cósmicos, são descarregadas na condição de tempo bom, e quando se tem uma perturbação, ou seja, uma tempestade de relâmpagos, este campo se inverte, passando a transferir carga positiva para a Ionosfera, mantendo o circuito ativo. Uma estrutura esquemática do CEAG pode ser vista na Figura 29. O modelo normalmente utilizado para representar a percentagem do campo elétrico é a curva de Carnegie, conforme a Figura 30.

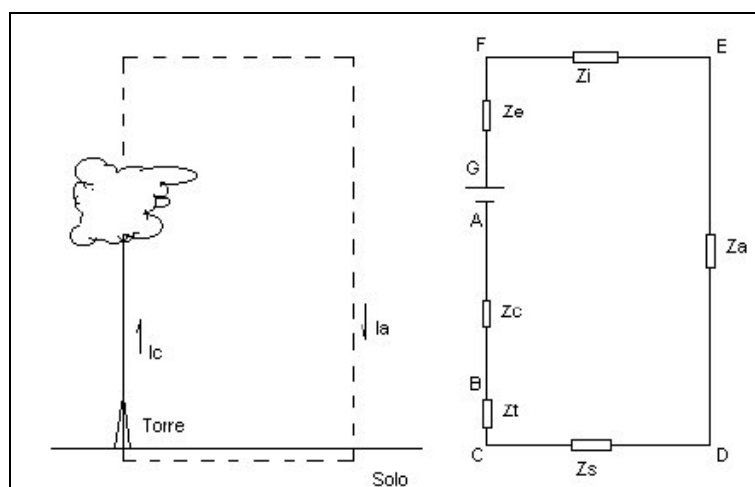


Figura 29 – Estrutura esquemática do CEAG e a esquerda uma estrutura plana.  
 Fonte: Adaptado de: Lacerda (1999, p. 45)



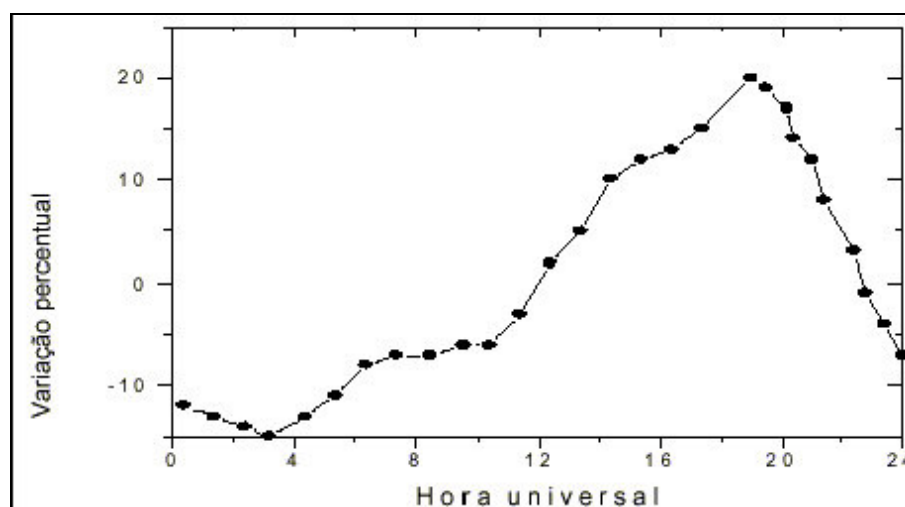


Figura 30 – Curva de Carnegie.

Fonte: Pinto (1987, p. 11) *apud* Faria (2003, p. 24)

### 3.8.2. Sprites

Os *sprites* são fenômenos de curta duração, ou seja, menos de 0,5 s, e que apresentam cor vermelha, com brilho e luminosidade variada (Sentman e Wescott *apud* Tavares 1999). São fenômenos mesosféricos, que vão deste o topo da nuvem e podem atingir a camada E da Ionosfera. Neste sentido supõe-se que estes fenômenos colaboram para a manutenção do equilíbrio elétrico da Terra. A observação deste fenômeno é mais freqüente em comparação com os E.L.V.E.S., *Blue Jats* e *Blue Starters*, sendo feita a partir de sensores em Terra e por meio de satélites e outros. Eles podem ocorrer individualmente ou em grupos de 2 ou mais. Em geral os *sprites* são divididos em quatro partes, a saber: - Cabeça (head); - Cabeleira (hair); - Linha calva (hair line); Colar (collar); - Tentáculos (tendrils), onde cada uma dessas partes apresenta características que o distinguem dos outros. Este processo é considerado bastante similar as auroras, sendo que as emissões luminosas são causadas por elétrons energéticos acelerados campos elétricos de tempestade (Tavares, 1999). No entanto apresenta diferenças no que tange a altitude do fenômeno. Os *sprites* tendem a ocorrer nos Sistemas Convectivos de Mesoescala – MCS, como um todo e numa região relativamente pequena deste MCS. Para a detecção dos *sprites*, foi criado um modelo mínimo a ser formado em termos de tempestade, tal que a probabilidade de ocorrência dos fenômenos e sua detecção fosse máxima e assim reduzindo custos, conforme campanhas no Colorado – EUA, 1994/95. Sendo que estes fenômenos parecem estar relacionados a descargas positivas NS, porém nem todas as descargas deste tipo os produzirão. A Figura 31 mostra uma estrutura de um *sprite* e a Figura 32 mostra uma imagem de *sprites*. Conforme análises desenvolvidas por Tavares (1999), o número mais elevado de *sprites* não esta necessariamente associado ao período de maior ocorrência de descargas atmosféricas positivas. Sendo que se conseguiu isolar uma única descarga atmosférica positiva para cada *sprite*, porém se verificou que não há uma correlação entre a corrente total dos relâmpagos positivos e os *sprites*.

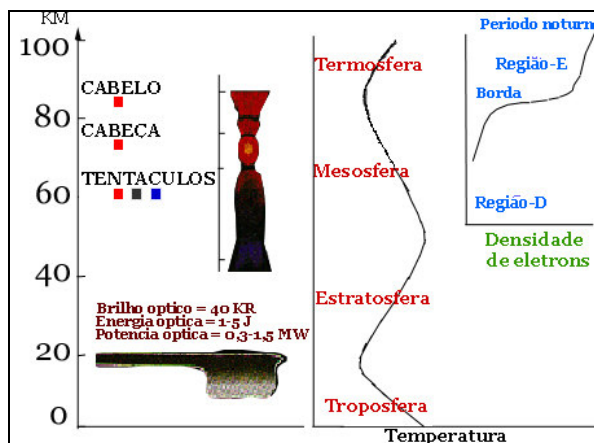


Figura 31 – Estrutura dos *sprites*.

Fonte: Sentman *et al* (1995a) *apud* Tavares (1999, p. 42 e 44)

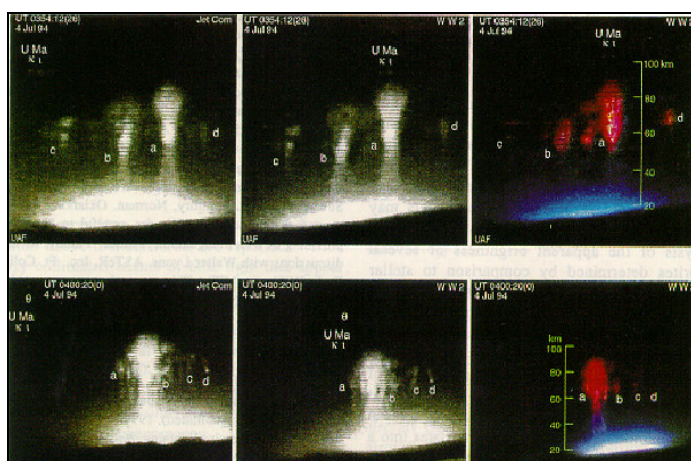


Figura 32 – Imagem dos *sprites*.

Fonte: Sentman *et al* (1995a) *apud* Tavares (1999, p. 42 e 44)

### 3.8.3. Jatos Azuis

Os *blue Jats* ou jatos azuis são feixes sob forma de cones ( $\sim 14.7^\circ$ ) que saem do topo da tempestade, de cor azul, sendo quase verticais e, suas extremidades formam uma degrade com a Atmosfera o que os deixa mais fracos. Estão associados ao granizo das tempestades. A Figura 33 mostra um blue jat.

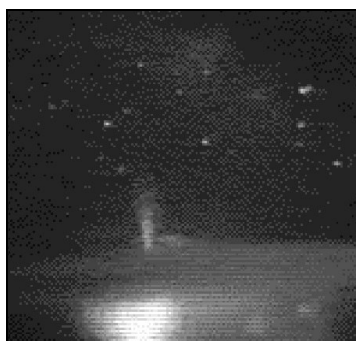


Figura 33 – Jatos azuis, *blue jats* em preto e branco.

Fonte: Sentman (1998) *aoud* Tavares (1999, p. 49 e 50)

### 3.8.4. E.L.V.E.S

Os E.L.V.E.S. (Emissões de Luz e perturbações VLF causadas por fontes de pulsos Eletromagnéticos) são uma espécie de anel luminescente que ocorre na camada D ionosférica, precedendo os *sprites*, porém com uma intensidade muito mais baixa. Sendo que apresentam uma rápida expansão e parecem estar associados a relâmpagos positivos de grande intensidade. Sua influência provável se dá nas ondas de rádio. Na Figura 34 pode ser vista uma representação de um E.L.V.E.

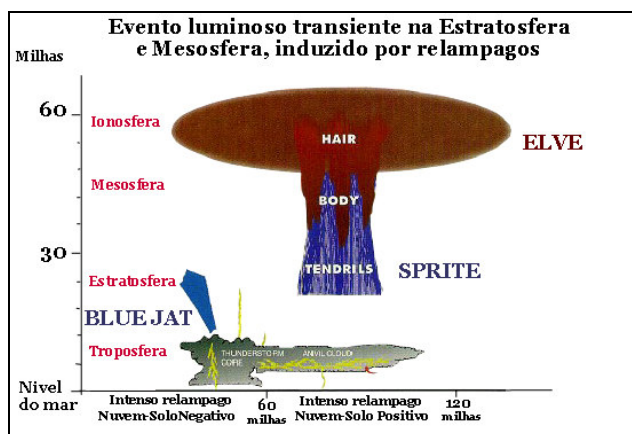


Figura 34 – Estrutura de um E.L.V.E.S.

Fonte: Lyons (1997) *apud* Tavares (1999, p. 56)

### 3.8.5. Precursores Azuis

Apresentam semelhança com os jatos azuis, porém com altitude terminal menor, que ocorrem até os 25,5 Km de altitude. Em geral não apresentam relação direta com nenhum tipo de relâmpago, porém há evidências que sugerem uma relação com tempestades de granizo, devido as fortes convecções ascendentes (Tavares, 1999). Os estudos destes fenômenos são feitos em geral a partir de imagens de satélites, de câmeras de alta sensibilidade bem como um conjunto de equipamentos óticos, com dados de redes de detecção de relâmpagos, onde se busca correlacionar as informações deste banco de dados a fim de obter as respostas.

## 3.9. TÉCNICAS DE MEDIDA

No século XIX, com o uso da espectroscopia, as pesquisas sobre relâmpagos se baseavam na decomposição da luz gerada pelos relâmpagos em suas múltiplas frequências, onde se compara a intensidade da luz entre as diferentes frequências. Somente a partir de 1960 esta técnica evoluiu, segundo Pinto Jr. e Pinto (1996, p. 47; 2000, p. 75) em consequência da “determinação da temperatura e densidade de elétrons na descarga,...”. Ainda no final do século XIX surgiram os primeiros estudos de relâmpagos partir de fotografias. Assim no início do século XX, a base do conhecimento sobre os relâmpagos foi criada a partir de observações de relâmpagos por meio de fotografias na África do Sul e no Estados Unidos, em especial no edifício *Empire State* em Nova York.

Na década de 20 surgiram as primeiras medidas das características dos relâmpagos a partir da radiação eletromagnética associada. A melhoria desta técnica fez com

que hoje esta seja a mais utilizada para estudar os relâmpagos. A Detecção de dos relâmpagos por esta técnica consiste em identificar a direção em que ocorreu a descarga e combinar os dados gerados por diversos sensores. A identificação pode ser feita a partir de uma ampla faixa de frequência, desde VLF, VLF/LF a VHF, dependendo do parâmetro que se pretende estudar e/ou identificar. Os atuais sistemas de detecção de relâmpagos são baseados nestas técnicas.

Uma outra forma de se estudar os relâmpagos se relaciona à intensidade de corrente elétrica, que foi primeiramente estudada a partir do campo magnético residual em rochas basálticas próximas a descarga. Em 1920 foram desenvolvidos equipamentos especificamente para identificar este parâmetro, chamados de elos magnéticos. A partir de 1940 começou-se a utilizar torres metálicas instaladas geralmente no topo de montanhas onde a incidência de relâmpagos é maior, para medir a intensidade de corrente elétrica.

A técnica mais moderna consiste em induzir relâmpagos por meio de um fio condutor carregado até a nuvem por um foguete. Este fio serve de caminho para a descarga, com a grande vantagem de ser possível prever onde a descarga irá cair. Esta técnica tem sido utilizada para fazer medidas de corrente elétrica e da radiação eletromagnética. Atualmente estão sendo realizadas experiências para induzir relâmpagos por meio de *lazer*.

Em especial a partir dos anos 80 os relâmpagos têm sido detectados do espaço, com o uso de sensores ópticos que estão a bordo de satélites.

### 3.10. SISTEMAS DE DETECÇÃO DE RELÂMPAGOS

Os sistemas de detecção de relâmpagos em geral podem ser divididos em dois grandes grupos, os sensores de superfície e os orbitais. Os primeiros são largamente utilizados para estudar as características dos relâmpagos, em geral com uma eficiência de detecção alta, podendo ser superior a 90%. Os sensores orbitais de baixa altitude<sup>14</sup> apresentam uma eficiência de detecção estimada em 50% (Finke e Hauf, 2002), porém apresentam a vantagem de cobrirem grandes áreas, inclusive os oceanos. Em um estudo sobre um protótipo de um sensor de detecção de relâmpagos a bordo de satélites geoestacionários, Finke e Hauf (2002) mostram que sua resolução seria de 4 a 8 Km, com uma eficiência de detecção estimada em 90%.

#### 3.10.1. Sensores de superfície

Em 1926 Watson e Herd desenvolveram um sensor que localiza os relâmpagos denominado CRDF, *Cathode-Ray Direction Finder*, que usava antenas fechadas e ortogonais entre si sintonizadas na faixa dos 10 KHz para detectar o campo magnético horizontal, obtendo a direção da descarga, que combinada com a direção de mais detectores, por meio de intersecção, fornecia a localização da descarga (Naccarato, 2001; Cummins e Murphy, 2000).

Um sistema parecido largamente utilizado até a Segunda Guerra Mundial, denominados MDF, *Magnetic Direction Finder*, também utilizam o sinal magnético para fornecer a localização. Em 1976 o MDF foi aprimorado, detectando descargas nuvem-solo, em um raio de 500 Km. Operava na faixa de 1 a 500 KHz, detectando apenas sinais de descargas de retorno, baseado na forma de onda. Quando uma forma de onda de uma descarga de retorno era detectada, o dispositivo de detecção registrava o momento do pico inicial do campo, e a partir deste produzia soluções para a localização, a corrente de pico e a polaridade

<sup>14</sup> LIS, inicialmente a uma altitude de 350 Km (Finke e Hauf, 2002)

da descarga (Naccarato, 2001). Em 1960 um método de localização de relâmpagos foi descrito por Lewis *et al* (1960), baseado na diferença de tempo de chegada, denominado de TOA, *Time Of Arrival*, este método registra o exato instante de chegada do sinal de rádio produzido pelo relâmpago em dois sensores, a partir do qual o sistema traça uma coordenada hiperbólica. Quando mais sensores participam da detecção, várias coordenadas são traçadas, sendo que a localização do relâmpago será o ponto de intersecção de todas as coordenadas (Cummins e Murphy, 2000). Em seguida os métodos MDF e TOA foram integrados na formação da NLDN, *National Lightning Detection Network*, nos EUA. Em vista do reconhecimento dos benefícios gerados por estas informações, surgiu uma companhia especializada no estudo e geração de dados sobre relâmpagos, a GAI, *Global Atmospheric Inc.*, formada a partir da fusão entre a LLP, *Lightning Location and Protection*, ARSI, *Atmospheric Research Systems Inc.*, e a EPRI, *Electric Power Research Institute*. Em 1992 a LLP, agora uma divisão da GAI, desenvolveu a tecnologia IMPACT, *Improved Accuracy from Combined Technology*, que combinou os dados do sistema MDF e TOA, aumentando a eficiência das detecções, podendo detectar tanto o tempo de chegada como da direção magnética da descarga. Atualmente a GAI foi incorporada a Vaisala.

### 3.10.1.1. Sobre os métodos de detecção de superfície

Sobre os métodos de detecção serão apresentados os princípios de funcionamento, figuras para auxiliar para os métodos MDF, TOA e IMPACT. Outros sistemas, desenvolvidos por outras empresas também são utilizados, no entanto devido a pouca representatividade destes nos principais sistemas de detecção de relâmpagos do mundo, não foram abarcados neste estudo.

#### 3.10.1.1.1. MDF – Magnetic Direction Finder

Os sensores MDF como já foi discutido resumidamente, no histórico, são formados por duas antenas ortogonais em forma de *loop*, que a partir do azimute que é formado após a identificação do sinal EM pelas antenas  $N_xS$  e  $E_xW$ . Com o uso de um sensor MDF é possível identificar apenas a direção da descarga, mas quando dois ou mais sensores participam da solução, a localização é possível pela intersecção dos vetores de direção gerados por cada sensor. Esta otimização da localização é possível através da triangulação feita pelo sistema, conforme o algoritmo mostrado na Figura 35. Nela pode ser vista a localização ótima gerada pelo sistema, a localização real da descarga atmosférica e ainda a localização se apenas dois sensores participassem da solução ( $L_x$ ;  $L_v$  e  $L_y$ ) (Cummins e Murphy, 2000).

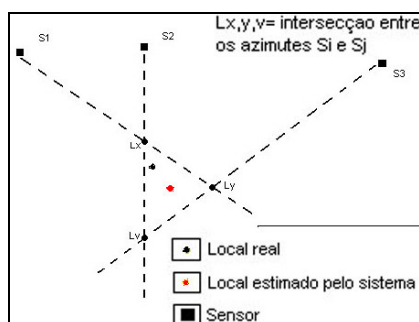


Figura 35 – Algoritmo LLP de localização ótima usada pelo MDF.

Fonte: Adaptado de GAI (1999, p. B-3) *apud* Naccarato (2001, p. 43) e Cummins e Murphy (2000, s. paginação)

Para gerar dados de boa qualidade o número de sensores é fundamental, sendo que em geral a rede de detecção MDF tem mais de 3 sensores. Conforme Naccarato (2001, p. 46) um problema prático é verificado “...caso uma descarga ocorra justamente na reta que liga dois sensores, sendo detectada apenas por estes dois sensores, então erros na medida do azimute podem levar a erros significativos de localização. Em algumas circunstâncias, é possível até que nem se obtenha uma solução válida (não há interseção)”. Além disso, a precisão tende a diminuir com o aumento da distância quando apenas dois sensores participam da solução.

### 3.10.1.1.2. TOA – Time Of Arrival

Também conhecido como método de localização por interseções hiperbólicas, é baseado na diferença de tempo de chegada da radiação produzida pelo relâmpago aos diferentes sensores. De posse dos tempos registrados por cada sensor, o sistema calcula a diferença temporal relativa entre o instante registrado por cada sensor. Assim o sistema produz para cada par de antenas uma curva hiperbólica, de modo a satisfazer a diferença temporal medida, com locais possíveis para a descarga (Cummins e Murphy, 2000).

Com 3 sensores é possível determinar a localização de uma descarga atmosférica, definida como sendo no ponto de interseção de todas as curvas hiperbólicas, conforme a Figura 36-A. Quando apenas 3 sensores participam, podem ocorrer dois pontos de interseção para uma mesma descarga, como mostra a Figura 36-B. Este fato pode ser corrigido com a adição de um ou mais sensores.

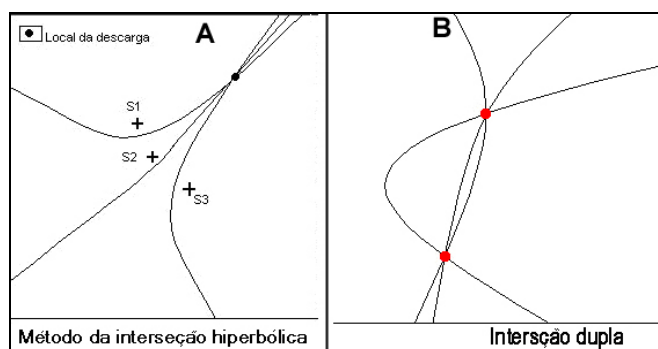


Figura 36 – A) Localização por curvas hiperbólicas do método TOA. Solução com duas interseções para uma mesma descarga. B) Solução com duas interseções para uma mesma descarga.

Fonte A: Adaptado de Cummins e Murphy (2000, s. paginação). B) Solução com duas interseções para uma mesma descarga. Fonte B: Adaptado de GAI (1999, p. B-4) apud Naccarato (2001, p. 47)

Além da localização pela diferença temporal relativa, é possível medir o horário absoluto de chegada da radiação EM, obtendo-se a localização e a hora registrada por cada sensor para a descarga. Este método é denominado de método de localização por interseções circulares. Isto porque o sistema calcula um círculo com possíveis localizações para cada sensor (Cummins e Murphy, 2000). Segundo Naccarato (2001, p. 48): “O raio de cada círculo é baseado na diferença entre o instante de chegada da radiação ao sensor”. Este método é ilustrado na Figura 37 com círculos para 4 sensores.

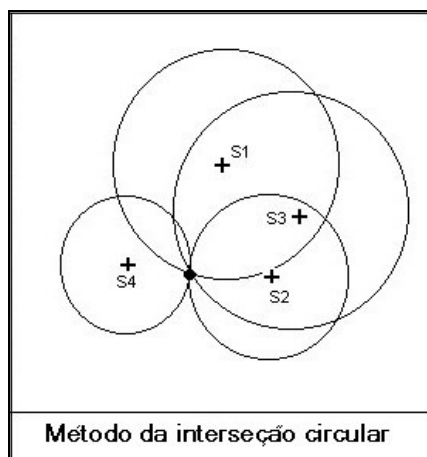


Figura 37 – Método das interseções circulares.

Fonte: Adaptado de: GAI (1999, p. B-5) *apud* Naccarato (2001, p. 48)

Com a participação de dois sensores, os dois métodos soluções de igual qualidade. Mas quando mais sensores participam, o método de localização por interseções circulares gera localizações mais precisas (Naccarato, 2001).

### 3.10.1.1.3. IMPACT - Improved Accuracy from Combined Technology

O método IMPACT consiste na combinação do método MDF, que fornece os dados de azimuth, e o TOA, que fornece a distância em relação ao sensor. Combinando estes dois métodos, as deficiências de cada método são eliminadas. Uma descarga que ocorrer sobre a linha base entre dois sensores, será definida pela interseção da linha definida pelo azimuth e os círculos de distância dos sensores, mesmo que somente estes dois sensores tenham detectado a descarga, como mostra a Figura 38.

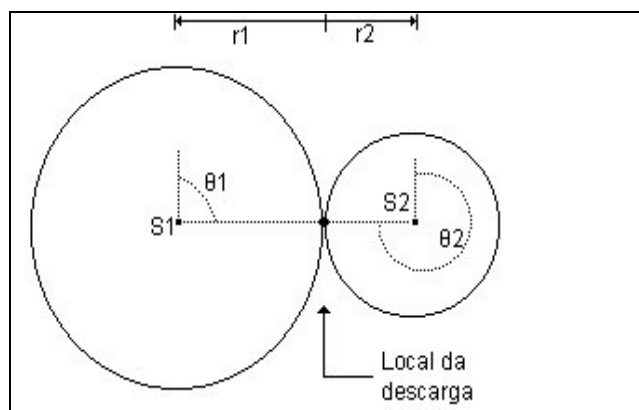


Figura 38 – Método IMPACT e uma descarga sobre a linha base de dois sensores.

Fonte: Adaptado de GAI (1999, p. B-5) *apud* Naccarato (2001, p. 49).

Em recentes pesquisas o método IMPACT têm se mostrado mais eficientes e precisos em comparação com as soluções geradas pelos outros métodos individualmente (Naccarato, 2001 baseado em Cummins *et al*, 1993).

### 3.10.1.2. Sistemas de detecção e processamento

Conforme Naccarato (2001), atualmente são dois os tipos de sensores mais utilizados, os sensores LPATS e os ALDF ou IMPACT. Existem outros sistemas, mas de menor relevância. Conforme o Mesmo autor (2001, p. 64): “Todos os sensores possuem circuitos receptores do sinal de *Global Positioning System (GPS)*”.

#### **3.10.1.2.1. LPATS, Lightning Position And Tracking System**

Os sensores LPATS, *Lightning Position And Tracking System*, utilizam somente o método TOA para gerar suas soluções. Em função disto, apresentam uma solução de menor qualidade que os IMPACT. Como estes sensores utilizam o método TOA, a precisão temporal é fundamental. Nos últimos anos os sensores LPATS foram bastante aperfeiçoados, essencialmente nos circuitos eletrônicos, surgindo novas séries III e IV, que hoje são bastante difundidos. A Figura 39 mostra um sensor LPATS.



Figura 39 – Sensor LPATS.

Fonte: Global Atmospheric (1999) *apud* Faria (2003, p. 77)

#### **3.10.1.2.2. ALDF, Advanced Lightning Direction Finder ou IMPACT, Improved Accuracy from Combined technology**

Os sensores IMPACT como são mais conhecidos, se baseiam no método TOA E MDF, fornecendo soluções mais confiáveis, além de um maior número de parâmetros. Podem medir o campo elétrico vertical, componentes ortogonais do campo magnético irradiado, fonte de radiação, amostrar a forma de onda do campo vertical, determinar a intensidade do pico de radiação, o tempo de subida, a largura de pulso e a relação entre o campo elétrico e o campo magnético E/B<sup>15</sup> (Naccarato, 2001). A Figura 40 mostra exemplos de sensores IMPACT ou ALDF.

<sup>15</sup> Utilizada para excluir ruídos.





Figura 40 – Sensores IMPACT ou ALDF.

Fonte: Global Atmospheric (1999) *apud* Faria (2003, p. 79)

### **3.10.1.2.3. SAFIR - Surveillance et Alerte Foudre par Interférométrie Radioélectrique**

O SAFIR (Surveillance et Alerte Foudre par Interférométrie Radioélectrique), inicialmente foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais da França, opera na faixa de frequência das ondas VHF, na banda de 110 a 118 MHz. Esta frequência permite detectar os passos do líder escalonado. Para detectar a descarga de retorno uma segunda antena, que opera na faixa de LF, na banda de 300 Hz a 3 MHz. A combinação destas duas antenas permite discriminar as descargas IN e as NS-SN. A eficiência de detecção da rede SAFIR é de 90% para distâncias inferiores a 150 km.

Redes com sensores SAFIR atualmente operam nos Países Baixos, Bélgica, França, Alemanha, Hungria, Slovakia, Polônia, Singapura, Japão, Guiana Francesa. As redes SAFIR da Europa, em geral estão interligadas, visando uma melhoria na qualidade das soluções. Uma rede de sensores SAFIR será instalada em Santa Catarina, no âmbito do Projeto SIDDEM.

### **3.10.2. Métodos de detecção de relâmpagos orbitais**

O primeiro sensor foi colocado a bordo da nave espacial Apolo 17, que possibilitava a observação de pulsos ópticos durante a noite. Em 1973 o sensor OLS produziu as primeiras imagens da atividade de relâmpagos no globo. Em seguida, no ano de 1995 foi posto em órbita o sensor OTD e em 1997 a bordo do satélite TRMM o sensor LIS começou a produzir soluções.

#### **3.10.2.1. Sensor OLS**

O sensor OLS, *Operational Linescan System* do DMSP, *Defense Meteorological Satellite Program*, produz imagens da atividade de relâmpagos desde 1973. Inicialmente era utilizado um filme analógico para armazenar os dados, fornecendo dados sobre a latitude, longitude e a hora do evento. Em 1991-92 os arquivos em filme foram transferidos para arquivos digitais.

### 3.10.2.2. Sensor OTD

O primeiro sensor que possibilitou observações tanto noturnas quanto diurnas foi o OTD, *Optical Transient Detector*, que foi enviado a bordo do satélite MicroLab-1 em 1995. O OTD ficou em operação por quase 5 anos, bem mais do que os 2 anos esperados. A órbita do satélite a que o OTD estava acoplado era de 740 Km de altitude com 70° de inclinação do equador. A área de observação do sensor é de 1.300 x 1.300 Km, isto em função do campo de visão e da altitude. Conforme Faria (2003, p. 73): O OTD era composto por uma combinação de elementos ópticos e eletrônicos, capaz de detectar mudanças momentâneas no cenário óptico que indicam a ocorrência de relâmpagos. É similar a uma câmera de TV, possuindo um sistema de lentes, um detector em arranjo.

Os objetivos do OTD eram possibilitar um melhor entendimento da distribuição das tempestades, dos processos dentro da nuvem e a variação das tempestades a partir da detecção e localização da atividade de relâmpagos sobre grandes áreas do Globo (NSSTC/NASA, 2004).

### 3.10.2.3. Sensor LIS

Em novembro de 1997 foi lançado o satélite TRMM, *Tropical Rainfall Measuring Mission*, que continha a bordo o melhoramento do sensor OTD, o novo sensor foi denominado LIS, *Lightning Imaging Sensor*, que primeiramente esteve a 350 Km de altitude e após foi remanejado para os 402,5 Km, garantindo-lhe maior tempo de vida útil, com uma inclinação de 35° do equador (Faria, 2003). Na Figura 41 é mostrado o imageador LIS.



Figura 41 – Imageador LIS.

Fonte: Adaptado de NASA (1999) *apud* Faria (2003, p. 83)

O imageador LIS tem uma resolução espacial de aproximadamente 5 Km, abrange uma área de 600 x 600 Km por um período de 90 segundos (Faria, 2003). O objetivo do lançamento do sensor LIS foi de possibilitar o estudo de nuvens de tempestade, a exemplo dos demais sensores a bordo do TRMM, obtendo informações sobre o ciclo hidrológico, dinâmica e microfísica das tempestades, variação como o período do ano e entre os anos (Faria, 2003). O imageador é formado por um sistema de lentes ópticas e um filtro de faixa estreita. Tem uma alta velocidade de visualização. Um processador de eventos é responsável por captar os sinais gerados, isto em tempo real, garantindo assim determinar o instante em que o relâmpago ocorreu. O sensor tem uma eficiência de detecção de 90%. Faria (2003) baseado em Christian *et al* (1999), afirma que o sensor LIS detecta todos os tipos de relâmpagos, ou seja, NS, SN, IN, NN, baseado nos pulsos ópticos gerados por todos os relâmpagos, mas não permite diferenciar o tipo de relâmpagos. Ainda com base em Christian (1999) Faria (2003, p. 83) afirma que “recentes estudos sugerem evidências de que a atividade de relâmpagos pode fornecer estimativas empíricas para algumas propriedades geofísicas, como o fluxo de chuvas convectivas e a taxa de chuvas, a estrutura vertical e a distribuição de massa da tempestade, o

número e a distribuição de tempestades sobre o globo terrestre”. O sensor fornece dados como o instante de ocorrência do evento, a energia de radiação e a localização do evento, latitude e longitude (Faria, 2003).

### **3.11. CENTRAL DE PROCESSAMENTO**

Após os sensores detectarem o sinal de um relâmpago, as informações são enviadas para uma central de processamento, que ira analisar as informações brutas recebidas, discriminando entre relâmpagos de céu ou os que envolvem o solo, e elimina os ruídos. Esta central é conhecida como Central de Análise Avançada de Localização, *Advanced Position Analyzer*, abreviado por APA2000. Esta central executa todos os cálculos para otimizar os parâmetros discutidos anteriormente e disponibiliza estes dados em um banco de dados e em tempo real (Naccarato, 2001).

#### **3.11.1. A central de processamento APA2000**

O programa APA2000 é constituído de três módulos básicos a partir do sistema operacional UNIX. Os módulos são o LP2000, *Lightning Processor*, o NM2000, *Network Management* e o DA, *Distribution and Archive*.

##### **3.11.1.1. LP2000, Lightning Processor**

Em síntese este módulo corresponde a central de processamento propriamente dita (Naccarato, 2001). A função do LP2000 consiste em obter os dados brutos (*raw data*) gerados pelos sensores e produzir soluções de localização, além de permitir que se verifique o desempenho individual de cada sensor e gerenciar o armazenamento. O modulo suporta de 4 a 256 sensores e redes híbridas, ou seja, compostas de diferentes sensores. Conforme exposto por Naccarato (2001, p. 62) o LP2000 apresenta as seguintes funções relacionadas à rede: “... recebimento dos dados brutos provenientes dos sensores, gerenciamento dos sensores (controle e configurações), configuração de parâmetros utilizados pelos algoritmos de localização, armazenamento do *raw data*, cálculo da localização dos relâmpagos, suporte à visualização dos resultados em tempo real para micros PC, acesso às soluções de localização armazenadas e *replay* simultâneo dos dados. O LP2000 suporta ainda a operação em tempo real e o reprocessamento dos dados armazenados simultaneamente.”

Entre as soluções geradas citamos: Data, horário, a localização em termos de latitude e longitude, intensidade do sinal e polaridade, a multiplicidade, o número de sensores que participaram da solução, graus de liberdade disponíveis para a otimização, os semi-eixos maior e menor em Km a partir da probabilidade de 50%, ângulo de azimute da elipse de segurança, chí-quadrado, tempo de subida e largura de pulso, máxima taxa de subida do sinal ou derivada e, KA/ $\mu$ s, classificação do relâmpago em NS ou IN e as informação utilizadas para a localização (Naccarato, 2001; Vaisala, 2003).

##### **3.11.1.2. NM2000, Network Management**

Destinado a manter altos níveis de desempenho para a rede, este modulo serve para configurar a rede interativamente (Naccarato, 2001). A partir deste modulo é possível monitorar e executar configurações do LP2000 e da rede de sensores, determinando o estado operacional do processo e dos sensores. Conforme Naccarato (2001, p. 63): “O NM2000

permite concentrar, registrar e analisar as estatísticas de desempenho da rede, podendo rodar sozinho em uma máquina, como uma unidade autônoma, ou em conjunto com o módulo DA2000”. Pode monitorar e controlar processos que estão sendo executados no módulo LP2000. Também para fins de averiguação o NM2000 pode ser conectado de forma direta a um sensor remoto.

### **3.3.1.3. DA2000, Distribution and Archive**

O módulo DA conforme Naccarato (2001, p. 61): “... oferece recursos avançados para armazenamento e distribuição dos dados a usuários finais tanto em tempo real como na forma de arquivo”. Para gerenciar as requisições dos clientes, este módulo utiliza Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados, *Relational Database Management System RDBMS, Sybase* que não limita o número de usuários. Em seu modo padrão suporta até 32 usuários ao mesmo tempo. O usuário ainda pode solicitar ao módulo parâmetros específicos, como data, horário, latitude, longitude, distancia, azimute, etc, conforme sua preferência (Naccarato, 2001). Os dados são extraídos do módulo LP2000 e armazenados no banco de dados *Sybase*.

## **3.11.2. Configurações para o LP2000**

Primeiramente o LP2000 pode operar em tempo real ou no modo de reprocessamento, sendo que estes dois modos podem estar em operação simultaneamente ou não.

### **3.11.2.1. Processamento em tempo real**

Possibilita que o usuário acompanhe a dinâmica espacial da atividade de relâmpagos em tempo real, já que os dados são computados à medida que chegam ao módulo LP2000. Um dos problemas deste modo de processamento se refere ao atraso na chegada dos *raw dates*, visto que o LP2000 trabalha com um limite de espera para que os dados sejam associados a um relâmpago. Assim, muitos parâmetros deixam de ser informados, são informados parcialmente ou mesmo não são computados (Naccarato, 2001).

### **3.11.2.2. Reprocessamento**

Para gerar as soluções por reprocessamento o sistema se dirige ao disco, eliminando o problema de não encontrar alguma informação. Desta forma as soluções geradas por reprocessamento apresentam uma maior precisão às de tempo real, à medida que todas as informações recebidas são processadas pelo sistema (Naccarato, 2001).

### **3.11.2.3. Arquivos e aplicativos para fazer configurações.**

#### **3.11.2.3.1. Locate.cfg**

Este arquivo de texto permite configurações em relação à precisão de localização e nas mediadas de otimização, quanto à seleção de informações fornecidas e determinados pelo LP2000, cálculo das variações dos sinais EM, correção dos sensores, discriminação do tipo de descarga, etc. No total cerca de 60 parâmetros podem ser configurados.

### 3.11.2.3.2. APA.config

Permite configurar cerca de 40 parâmetros, relacionados à qualidade das soluções, critérios de seleção, configuração dos sensores, transmissão das informações e sobre os dispositivos de visualização (Naccarato, 2001). Uma outra característica do *APA.config* é a possibilidade de criar diversos cenários variando o grau de exigência das soluções. Cada cenário tem parâmetros de configuração específicos. Em um estudo realizado por Naccarato (2001) sobre o desempenho de um sistema de localização de tempestades, apresentou oito cenários, variando o grau de exigência. Os parâmetros de configuração que modificou foram “*Times, Angles, Allow* e *Ratio*”. O Quadro 2 mostra alguns parâmetros considerados por Naccarato.

Parâmetro	Descrição
<i>Times</i>	Número mínimo requerido de medidas temporais (horários) a serem usadas no cálculo da localização da descarga. Este parâmetro define o número mínimo exigido de sensores IMPACT e/ou LPATS nas soluções, uma vez que ambos os tipos fornecem dados temporais das descargas.
<i>Angles</i>	Número mínimo requerido de medidas angulares (direção) a serem usadas no cálculo da localização. Como as medidas de ângulo são feitas apenas por sensores IMPACT, este parâmetro define então o número mínimo exigido de sensores deste tipo nas soluções.
<i>Allow</i>	Define se o LP2000 deve considerar ou não, nas soluções, dados de descargas classificadas pelos sensores como IN. Quando o valor desse parâmetro for <i>yes</i> , LP2000 irá incluir no cálculo das informações da descarga todas as mensagens fornecidas pelos sensores, independentemente de sua classificação como NS e IN. Caso algum sensor classifique-a como NS, então a solução também será NS. Desta forma, uma descarga somente será classificada como IN se todas as mensagens dos sensores referentes a ela estiverem classificando-a como tal. Esta opção possui um inconveniente: como a classificação das descargas pelos sensores costuma ser imprecisa, pode haver contaminação das soluções por dados de descargas IN ou eliminação de dados de descargas NS válidas. Em virtude das características distintas das descargas NS e IN, a eliminação de dados NS reais costuma ser muito menor que a contaminação por dados IN. Isso porque os sensores tendem a classificar mais relâmpagos IN como NS que o inverso. Por outro lado, se o valor do parâmetro for <i>no</i> , qualquer mensagem recebida dos sensores que classifique a descarga como IN não será incluída no processamento de sua solução. Desta forma, obtém-se uma situação mais exigente pois somente as informações dos sensores que classificarem a descarga como NS serão utilizadas na localização final.
<i>Ratio</i>	Corresponde ao máximo valor aceitável da razão entre dois valores de intensidade de sinal normalizado (RNSS) de uma solução calculada com base em duas medidas de ângulo. Essa razão é calculada comparando-se o maior valor de RNSS com o menor. Desta forma, o valor do RNSS de cada sensor que informou a descarga deve estar abaixo da razão especificada caso contrário, a solução será rejeitada.
<i>Chi Square</i>	Representa uma medida do desvio existente nas informações dos sensores usadas no cálculo da localização. Este valor define o máximo desvio permitido para que uma localização seja classificada como aceitável.
<i>Confidence Ellipse</i>	Define uma região elíptica, chamada elipse de segurança, em torno da localização calculada pelo sistema onde existe 50% de

	probabilidade de que a descarga tenha ocorrido. Este valor corresponde ao máximo comprimento do semi-eixo maior da elipse aceitável para a localização da descarga. Em outras palavras, este parâmetro define a incerteza da localização. Valores cada vez maiores do semi-eixo maior da elipse significam incertezas maiores com relação à localização da descarga.
<i>Distance</i>	Define uma distância em relação à localização da descarga dentro da qual exista pelo menos um sensor que tenha participado da solução. Se nenhum sensor estiver a essa distância, a solução é rejeitada.
<i>Hold Time</i>	Corresponde ao tempo máximo de espera para o recebimento das informações dos sensores referentes a uma descarga. Durante esse tempo, o LP2000 vai armazenando as mensagens dos sensores a medida que vão chegando. Esgotado o tempo de espera, ele inicia o processamento da solução e eventuais mensagens retardatárias são então desprezadas.
<i>Coincidence Window</i>	Define uma janela de tempo, denominada janela de coincidência, utilizada inicialmente para correlacionar os dados dos sensores referentes a uma possível localização da descarga. Em outras palavras, esse tempo corresponde ao atraso sofrido pelo sinal ao ser detectado por dois sensores muito distantes um do outro e permite ao sistema determinar quais mensagens dos sensores correspondem a uma mesma descarga. Uma onda eletromagnética, devido ao fato de se propagar com uma velocidade finita (próxima à velocidade da luz), irá atingir sensores muito distantes entre si em tempos diferentes. Essa diferença constitui a janela de coincidência e é calculada com base na velocidade da luz e na maior distância em linha reta entre dois sensores da malha. Com base nesse tempo, o sistema desconta os eventuais atrasos de propagação devido às diferentes distâncias dos sensores da rede e determina quais sensores detectaram a descarga.

Quadro 2 – Parâmetros do sistema e seu significado.

Fonte: GAI (1999, p. 7-22 a 7-25) *apud* Naccarato (2001, p. 77 e 78)

Existem parâmetros que podem ser configurados tanto a partir do arquivo *locate.cfg* como pelo aplicativo *APA.config*, sendo que primeiramente o LP2000 irá considerar o *APA.config* e depois, se necessário, o *locate.cfg*.

### 3.11.2.3.3. *Flashcalc.cfg*

Relaciona-se fundamentalmente a configuração do algoritmo de agrupamento, neste arquivo são definidos os parâmetros que orientaram o sistema para a geração das soluções, como o tempo entre as descargas, tempo total do relâmpago, o raio de abrangência, a variação máxima aceita para a corrente de pico, a multiplicidade e o raio de agrupamento (Naccarato, 2001).

### 3.11.3. Características do sistema

O desempenho de um sistema pode ser avaliado por meio da precisão da localização, através da consistência dos dados ou ainda pela eficiência de detecção. Conforme Naccarato (2001, p. 50): “Com o objetivo de qualificar essas medidas de desempenho, a GAI utiliza cálculos matemáticos para calcular a precisão de localização e a eficiência de detecção com base nos tipos dos sensores e nas soluções calculadas pelo sistema”.

A precisão da localização é dada por uma área de segurança, onde o sistema calcula uma elipse de segurança para cada sensor que detectar a descarga. A elipse apresenta 50% de chance de que a descarga tenha ocorrido dentro de sua área. Quando apenas dois sensores MDF detectam uma descarga, quanto maior a distância, maior a excentricidade da elipse, conforme pode ser visto na Figura 42. E quanto mais sensores participarem maior próximo a um círculo tende a ser a elipse de segurança, mostrando que o posicionamento dos sensores é importante num sistema de detecção de relâmpagos (Naccarato, 2001).

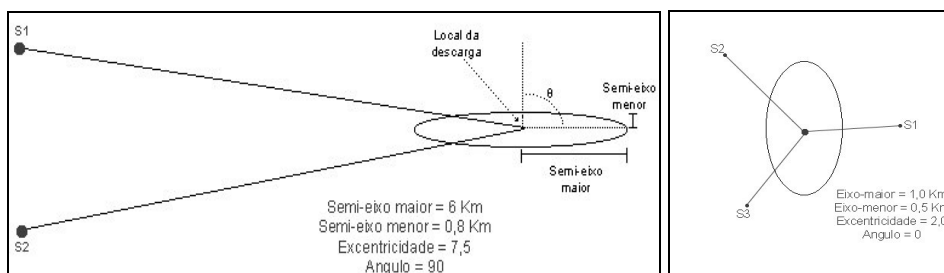


Figura 42- Elipse obtida com uma diferentes geometrias

Fonte: Adaptado de GAI (1999, p. B-7) *apud* Naccarato (2001, p. 52)

Para alterar a probabilidade da elipse de segurança, basta alterar apropriadamente a escala dos semi-eixos maior e menor, onde o comprimento de cada eixo é dado pelo desvio

padrão normalizado,  $\sigma$ , obtido pela expressão  $\sigma = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-p)^2}\right]}$ , (Naccarato, 2001 baseado

na GAI, 1999). A Tabela 3 mostra algumas relações entre  $\sigma$  e a probabilidade desejada.

$\sigma$	Probabilidade
1,000	39,3%
1,177	50,0%
2,000	86,5%
2,450	95,0%
3,030	99,0%

Tabela 3 – Relação entre  $\sigma$  e a probabilidade.

Fonte: Adaptado de Naccarato (2001, p. 51)

A eficiência de detecção é dada pela capacidade dos sensores detectarem os relâmpagos que ocorrem. Assim, nem todos os relâmpagos são detectados e informados, evidenciando que o sistema não apresenta 100% de eficiência. Algumas descargas não são detectadas por apresentarem formas de onda diferentes das aceitas pelo sistema. Pode ser desconsiderada uma descarga que apresentar uma intensidade inferior ao mínimo estipulado para o sistema. São desconsideradas as descargas detectadas pelos sensores que não puderam ser correlacionadas pelo sistema ou produzirem soluções erradas (Naccarato, 2001). Assim, a eficiência de um sistema corresponde à percentagem da quantidade total de descargas detectadas pelos sensores.

Segundo Naccarato (2001, p. 53): “A eficiência de detecção da rede como um todo é determinada por vários fatores, entre eles a eficiência da detecção individual dos sensores, o número médio de sensores que contribuem para as soluções, a distribuição geográfica dos sensores (relacionado com a geometria da rede) e a distribuição dos picos de corrente (relacionada com as condições geográficas e meteorológicas locais), as qual

apresenta uma significativa influência”. Em geral descargas atmosféricas com corrente de pico maior são detectados por mais sensores, possibilitando uma maior eficiência e precisão da localização.

Um outro parâmetro para verificar o desempenho de um sistema de detecção de relâmpagos se refere à consistência dos dados. Este parâmetro é calculado pelo chí-quadrado, ( $X^2$ ), normalizado, que segundo Naccarato (2001, p. 53) “ representa uma medida do grau de concordância das medidas feitas pelos sensores em comparação com a localização calculada pelo sistema,...”. Este é dado pela expressão  $X^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{(m_j - m_j^*)^2}{e_j^2}}{x}$ , idealizada pela GAI

(Naccarato, 2001), onde:  $n$  = Número total de medidas (sensores);  $m_j$  = Valor do ângulo medido pelo  $j$ -ésimo sensor;  $m_j^*$  = Valor do ângulo da localização ótima calculada pelo sistema para o  $j$ -ésimo sensor;  $e_j$  = Erro teórico para o  $j$ -ésimo sensor;  $x$  = Número de graus de liberdade. Quando as soluções se referem ao método IMPACT, a consistência dos dados inclui ainda o horário no qual a descarga de retorno inicia-se. Conforme pode ser visto na

expressão:  $X^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{(m_j - m_j^*)^2}{e_j^2} + \sum_{j=1}^n \frac{(t_j - t_j^*)^2}{\delta_j^2}}{x}$ , onde:  $x$ ;  $e_j$ ;  $m_j^*$ ;  $m_j$  e  $n$  apresentam os mesmos significados da expressão anterior;  $t_j$  = Valor do horário medido pelo  $j$ -ésimo sensor;  $t_j^*$  = Valor do horário da localização calculada pelo sistema para o  $j$ -ésimo sensor;  $\delta$  = Erro temporal teórico para o  $j$ -ésimo sensor.

Valores bons para o  $X^2$  são os entre 0 e 3, aceitáveis estão entre 3 e 10 e se os valores forem maiores, são ruins (Naccarato, 2001). Neste último caso, a localização passa a ser imprecisa. Quando o valor de  $X^2$  for maior que 10, a elipse de segurança irá subestimar o erro real da localização, não podendo ser usada. Se o valor de  $X^2$  estiver abaixo de 10, a elipse de segurança pode ser utilizada, como por exemplo para ver se uma determinada descarga atmosférica atingiu um determinado ponto, conforme a Figura 43 (Naccarato, 2001).

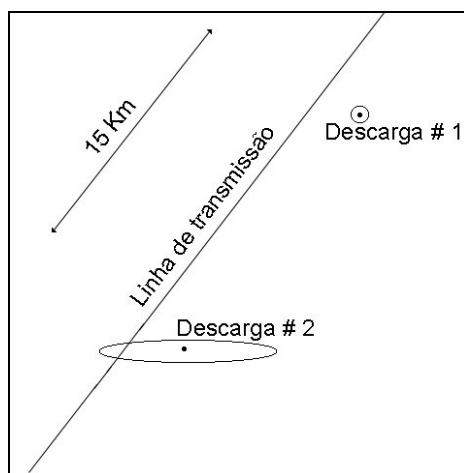


Figura 43 – Uso da elipse de segurança para a identificação da descarga mais provável (caso #2).

Fonte: Adaptado de GAI (1999, p. b-10) *apud* Naccarato (2001, p. 56)



Entre os dados que o sistema pode oferecer temos a corrente de pico, que corresponde à medida do pico de radiação EM produzido pelo canal. Conforme Naccarato (2001, p. 57): “Para obter-se uma relação entre o pico de radiação e o pico de corrente, assume-se que o simples modelo de linha de transmissão (...), seja válido para o pico da radiação”. Mas ao se propagar sobre a superfície à radiação sobre uma atenuação, que deve ser calculada para cada sensor. Naccarato (2001) baseado em Cummins (1998a) traz o seguinte modelo para se obter valor da intensidade do sinal normalizado, *Range Normalized Signal Strength*, RNSSL:  $RNSS = C.SS \left[ \frac{r}{D} \right]^p e^{-\frac{r-D}{A}}$ , onde:  $SS$  = Instante do sinal da

radiação medido pelo sensor;  $r$  = Distância em Km;  $D$  = Distância normalizada definida em 100Km;  $p$  = Expoente de atenuação, valor empiricamente calculado dado por  $p = 1,13$ ;  $A$  = Escala de comprimento da atenuação da radiação, valor utilizado atualmente é de  $A = 10^5$  Km;  $C$  = Constante. Calcular a média dos valores de RNSS dos sensores participantes<sup>16</sup> que registraram a descarga de forma válida. A partir do valor de RNSS o sistema calcula a corrente de pico a partir da seguinte conversão atualmente utilizada pela GAI (Naccarato, 2001):  $I_{pk} = 0,185.RNSS$ , onde a intensidade da corrente de pico  $I_{pk}$  é dada em KA. A partir da detecção de todas as descargas de retorno dos relâmpagos pelos sensores, o sistema através de um algoritmo matemático define a multiplicidade

Em relação ao tempo, são consideradas descargas de retorno que ocorrerem até um segundo após a primeira descarga de retorno. A distância para uma descarga ser associada a um relâmpagos é de 10 Km de distância do ponto de impacto da primeira descarga de retorno num intervalo de no máximo 500 ms em relação à descarga anterior. O algoritmo associa uma descarga sempre ao relâmpago que apresenta a primeira descarga de retorno mais próxima evitando que seja associada a mais de um relâmpago. Quando uma descarga de retorno estiver fora da elipse de segurança de 10 km, no entanto dentro de 50 km e houver sobreposição da elipse de segurança com a elipse da descarga de retorno, esta será incluída no relâmpago. No entanto se houver sobreposição e a descarga estiver fora da elipse de 50 Km, a descarga de retorno será associada a um outro relâmpago. O número máximo de descargas de retorno que o sistema associa a um relâmpago pode ser mudado arbitrariamente no sistema, mas normalmente é de 15, sendo que as descargas de retorno após a 15ª descargas de retorno serão associada a outros relâmpagos. Conforme Naccarato (2001, p. 59): “... a localização de um relâmpago informada pelo sistema corresponde sempre à localização da primeira descarga de retorno, o mesmo ocorrendo para o valor de corrente de pico, que também corresponde ao pico da primeira descarga”.

A largura de pulso e o tempo de subida de um relâmpago são medidos pelos sensores a partir da radiação EM emitida pelo canal do evento. Os valores correspondem aos registrados pelo sensor mais próximo do evento, visando minimizar as interferências sofridas pela radiação ao se propagar. Com a finalidade de eliminar os relâmpagos IN, os sensores são ajustados para detectar apenas descargas com valores de largura de pulso acima de 10  $\mu$ s, convencionalmente pela GAI, já que valores inferiores normalmente são de relâmpagos IN. Este valor pode ser alterado, conforme pesquisas têm mostrado, sendo sugeridos valores de 15  $\mu$ s a 20  $\mu$ s.

<sup>16</sup> Localizados dentro de um raio de 625 Km para evitar a inversão de polaridade pela reflexão na ionosfera (Naccarato, 2001)

### 3.12. SISTEMAS DE DETECÇÃO DE RELÂMPAGOS EXISTENTES NO MUNDO

Apresentamos dados e informações sobre algumas redes de detecção de relâmpagos existentes no mundo, destacando a NLDN, a EUCLI e a JLDN.

#### 3.12.1. NLDN – National Lightning Detection Network

A NLDN constitui a rede de detecção de relâmpagos dos Estados Unidos. No total, a rede é formada por 106 sensores, dos quais 59 são do tipo LPATS-III, e 47 são sensores IMPACT. Todos os sensores estão sincronizados por sinal de satélite. Os dados obtidos pelos sensores são enviados para a rede central de processamento, em Tucson, Arizona, por satélite. Por fim os dados de tempo real são disponibilizados na Internet. A precisão temporal da rede é estimada em 1 s, a precisão de localização é em média de 500 metros e a eficiência de detecção do sistema esta entre 80 e 90% (Tavarez, 1999). A distribuição espacial dos sensores da NLDN podem ser vistos na Figura 44 A.

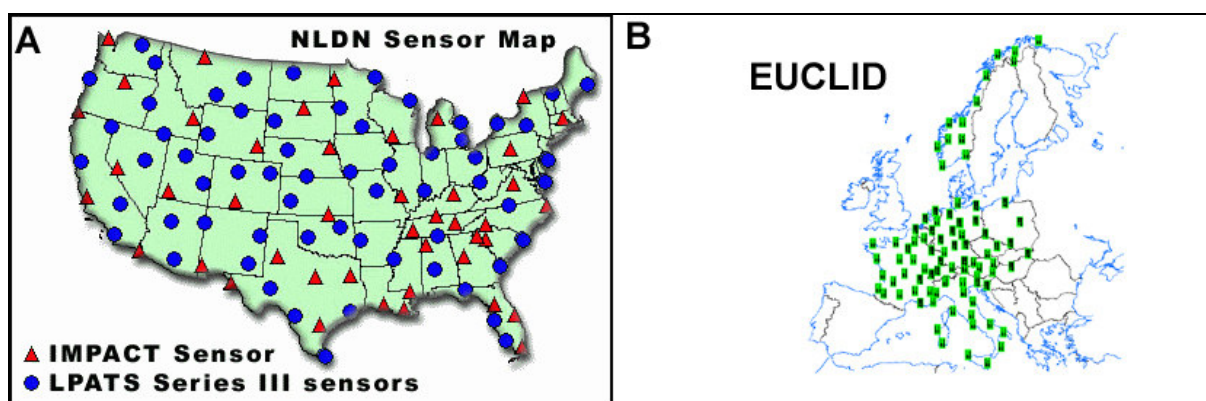


Figura 44 – A) Distribuição dos sensores da NLDN. B) – Distribuição dos sensores que compõe a EUCLID.

Fonte: U. Finke e O. Kreyer (2002)

#### 3.12.2. EUCLID – European Cooperation for Lightning Detection

A cooperação europeia para detecção de relâmpagos foi idealizada em 2001, constituída a partir da integração de redes de detecção de relâmpagos nacionais. Os países participantes são: Alemanha, Áustria, França, Hungria, Republica Tcheca, Dinamarca, Suíça, Luxemburgo, Polônia, Finlândia, Bélgica, Holanda, Itália, Noruega e Slovenia. A Figura 44 B mostra esta distribuição. Conforme Schulz e Diendorfer (2002, p. 1): “The goal of this cooperation is to provid European wide lightning data with homogeneous quality”. Assim, a performance da EUCLID é melhor que as soluções geradas pelas redes individuais, eliminando problemas como a má geometria. A rede EUCLID é formada por 87 sensores.

#### 3.12.3. JLDN – Japan Lightning Detection Network

A rede nipônica de detecção de relâmpagos é composta por 7 sensores tipo IMPACT e 17 LPATS-IV. A área de abrangência cobre praticamente todas principais ilhas do Japão. O sistema entrou em operação por completo em janeiro de 2000. Pela presença dos sensores IMPACT, a eficiência deste sistema é alta. Os dados gerados pela JLDN são

utilizados para fins meteorológicos e para fins de engenharia (Ishii *et al*, 2002, p. 1). No ano de 2002 foi feito um ajuste e uma atualização da rede, sendo que a eficiência da rede atualmente é estimada em menos de 500 metros.

#### **3.12.4. INM – Spanish National Institute of Meteorology lightning location network**

A rede espanhola de detecção de relâmpagos é constituída de 14 sensores do tipo MDF, apresentando uma precisão de localização dos relâmpagos para a Península Ibérica entre 2 e 4 Km. A eficiência média de detecção estimada é de 70% (Areitio, Ezcurra e Herrero, 2000).

#### **3.12.5. CLDN - Canadian Lightning Detection Network**

A rede canadense de detecção de relâmpagos é formada por 81 sensores, todos sincronizados por GPS. As soluções geradas pela CLDN são enviadas para Tucson, nos Estados Unidos, onde são combinadas com as soluções da rede americana. Esta combinação traz benefícios para ambas as redes.

Além destas redes, existem outras redes em países da América, da África, Oceania, Ásia e Europa.

### **3.13. SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE RELÂMPAGOS NO BRASIL**

As pesquisas sobre os relâmpagos no Brasil tiveram início na década de 60, com medidas do índice cerâmico, ou seja, a quantidade de dias que apresentam trovoes, estabelecendo-se um mapa da densidade de relâmpagos no Brasil. Na década de 60 tivemos estudos a partir de radares meteorológicos e na década de 70, medidas feitas com sensores tipo CIGRÉ 10 kHz, *Conseil International des Grands Réseaux Électriques*, passaram a orientar os estudos. Na década de 80, com a equipe do ELAT, grupo de Eletricidade Atmosférica, do INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, as pesquisas passaram a ser mais intensas. Também com aumento do interesse das empresas do setor energético sobre estas pesquisas, esta área do conhecimento teve um grande impulso no Brasil. Primeiramente a CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. Em 1995, o ELAT/INPE firmou um convenio com a CEMIG e passou a ter acesso aos dados gerados pela rede mineira. Em 1999 tivemos a implantação da *Brazil Lightning Detection Network*, BLDN, em Rondônia. Antes disto, ocorreu a implantação de sensores por Furnas Centrais Elétricas em São Paulo e uma rede estadual no Paraná, a SIMEPAR, Sistema Meteorológico do Paraná. A rede da CEMIG, os sensores do INPE e os sensores de Furnas foram unificados em uma única rede, denominado Sistema de Localização de Tempestades, SLT. Em março de 2004 começou a operar um sistema nacional de localização de relâmpagos, o RINDAT. Cada um destes sistemas de detecção de descargas atmosféricas será discutido nos tópicos a seguir, com maiores informações sobre cada sistema.

#### **3.13.1. SLT - Sistema de Localização de Tempestades**

O sistema opera com 14 sensores do tipo LPATS e IMPACT, caracterizando uma rede híbrida. Cobre toda Região Sudeste do Brasil, O Paraná, Norte de Santa Catarina e parte da Região Centro Oeste. Dos 14 sensores, 5 são do tipo LPATS III, 5 do tipo LPATS IV e 4 sensores tipo IMPACT. Estes últimos possibilitam uma melhor qualidade das soluções,

principalmente na diferenciação dos relâmpagos IN (Naccarato, 2001). A distribuição dos sensores da SLT pode ser vista na Figura 45. A SLT possui duas centrais de processamento adquiridas da GAI (Naccarato, 2001). Em um estudo da atividade dos relâmpagos a partir da eficiência deste sistema de localização de tempestades Naccarato analisou vários cenários de configuração.

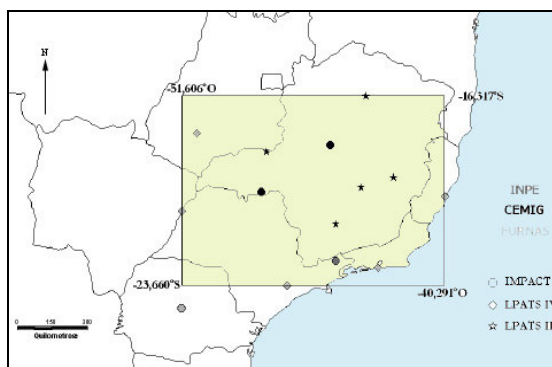


Figura 45 – Sistema de Localização de Tempestades - SLT.

Fonte: Adaptado de Naccarato (2001, p. 71)

### 3.13.2. SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná

O Sistema Meteorológico do Paraná, com uma central de processamento em Curitiba, Paraná, trabalha com informações da rede do Paraná, formada por 6 sensores do tipo LPATS III, e com dados dos sensores de Furnas Centrais Elétricas, sendo que também fornece dados para Furnas. A área de abrangência da rede é formada pelo estado do Paraná, Sul de São Paulo e norte de Santa Catarina. A Distribuição dos sensores da rede do SIMEPAR pode ser vista na Figura 46.

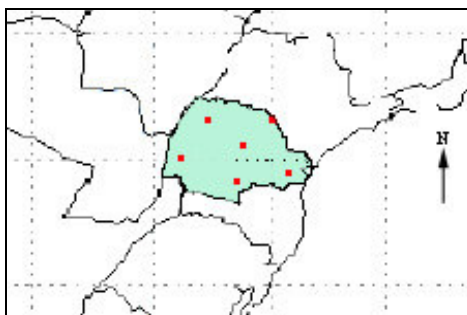


Figura 46 – Rede de detecção do SIMEPAR.

Fonte: Adaptado de Faria (2003, p. 72)

### 3.13.3. BLDN – Brazil Lightning Detection Network

A BLDN cobre o Estado de Rondônia e áreas ao redor. É uma rede formada por 4 sensores do tipo IMPACT-ES, sendo que a central de processamento esta localizada em Brasília. Sua implantação foi feita em 1999. A distribuição dos sensores da BLDN pode ser vista na Figura 47, onde a área verde representa a área de maior eficiência de detecção do sistema e a área azul equivale aos limites de detecção do sistema.

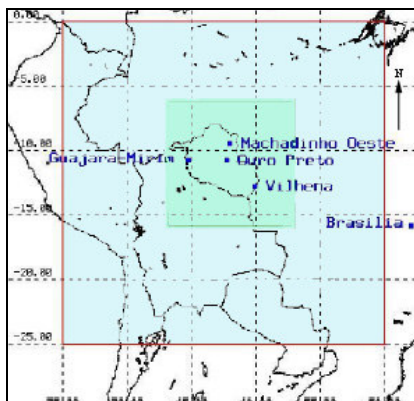


Figura 47 – Brazil Lightning Detection Network BLDN.

Fonte: Adaptado de Faria (2003, p. 86)

### 3.13.4. RINDAT – Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas

É a mais recente rede de detecção de relâmpagos do país, entrou em operação a partir de março de 2004, disponibilizando uma visualização a nível nacional da atividade de relâmpagos. Utiliza tecnologia LPATS III e IV e IMPACT, gerando soluções com uma precisão de localização média de 500 metros e uma resolução temporal de 300 nanossegundos, operando com base no GPS. A Figura 48 mostra a distribuição dos sensores participantes.



Figura 48 – Distribuição dos sensores da RINDAT.

Fonte: Disponível em: < [http://www.dge.inpe.br/elat/hp2003\\_1024/index.html](http://www.dge.inpe.br/elat/hp2003_1024/index.html) >.

## 3.14. OS RELÂMPAGOS NO BRASIL

O Brasil em função de sua extensão continental apresenta variadas condições de clima e tempo, que influenciaram na quantidade e características dos relâmpagos. O Brasil é o país com a maior quantidade de relâmpagos no Planeta, fato relacionado à sua posição, tamanho, características meteorológicas, etc. A variação da representatividade dos relâmpagos em determinadas regiões do País se dá em função das características geográficas, a estação do ano, em função da continentalidade e maritimidade, a dinâmica climática, entre outras.

As primeiras pesquisas sobre as descargas elétricas no Brasil foram feitas em 1902, a partir de medidas de campo elétrico, no Rio de Janeiro. Em 1960 tiveram início

medidas a partir do índice ceraúnico, sendo que foram produzidos os primeiros mapas de densidade de tempestades, conforme mostrado na Figura 48.

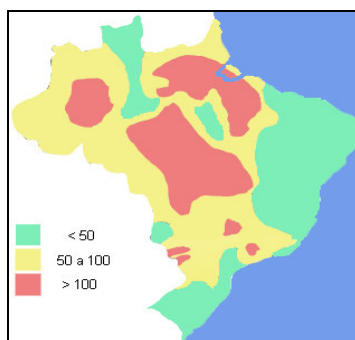


Figura 49 – Mapa isoceraúnico do Brasil.

Fonte: Adaptado de: Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 166)

A partir de 1980 foram feitos estudos sobre a estrutura das nuvens a partir de informações geradas por radares meteorológicos, além de medidas de corrente. A partir de 1990 começaram a ser feitas medidas a partir de satélites meteorológicos, de forma a complementar os estudos com radar. Além disto, na década de 90 ocorreu uma expansão das pesquisas a partir de sensores de superfície. Em 2004 entrou em operação uma rede nacional de detecção de relâmpagos, com dados em tempo real. Em 2002 o ELAT elaborou o primeiro mapa de densidade de relâmpagos a partir de dados de raios obtidos de sensores orbitais e de superfície. O resultado pode ser visto na Figura 50.

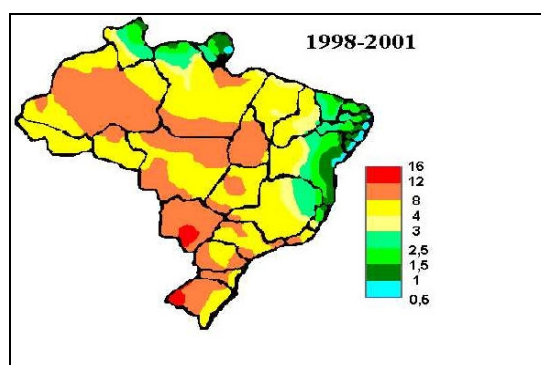


Figura 50 – Mapa de densidade de relâmpagos do Brasil.

Fonte: ELAT/INPE/MCT

### 3.15. O HOMEM E OS RELÂMPAGOS

Há estudos indicando que os relâmpagos podem ter participado ativamente na formação da vida no Planeta, associado a processos químicos que teriam formado os primeiros aminoácidos, através a quebra de moléculas de Amônia, Metano, Hidrogênio e vapor de água. Experiências em laboratório têm mostrado que é possível, porém ainda restam muitas dúvidas a serem esclarecidas (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Como fonte de energia os relâmpagos apresentam problemas para serem captados, visto que grande parte de sua energia é dissipada antes de atingir o solo, cerca de 1% do total de energia chega ao solo e não é possível captar todos os relâmpagos que atingem o solo

(Pinto Jr. e Pinto, 2000). Em suma, atualmente esta não é uma fonte viável de energia, mas talvez no futuro, com novas tecnologias, esta fonte possa ser aproveitada.

Os relâmpagos podem ser muito prejudiciais aos homens, sendo que podem matar e gerar grandes prejuízos econômicos em função de seu caráter destrutivo. Considerando as causas naturais, a quantidade de mortes por relâmpagos só é inferior à quantidade de vítimas das enchentes. Estima-se que milhares de pessoas sejam mortas todo ano por descargas atmosféricas (Pinto Jr. e Pinto, 2000). As estatísticas sobre o número de mortes por relâmpagos são mais completas nos Estados Unidos, onde cerca de 100 pessoas são mortas todo ano, no Japão, com cerca de 40 mortes por ano, na França com 10, na Alemanha, 25 mortes a cada ano em média, na África do Sul cerca de 200 pessoas são mortas por relâmpagos a cada ano. No Brasil estima-se que devam ocorrer entre 100 e 200 mortes por ano, baseado na quantidade de descargas em relação ao Estados Unidos (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

As mortes geralmente ocorrem em campos descampados, embaixo de árvores e próximo ou dentro da água, em geral morrem mais homens do que mulheres, considerando sua maior exposição a tais eventos. A morte por incidência direta dos relâmpagos é relativamente rara, sendo mais comum mortes associadas a tensões induzidas, sobretensões tensões de passo e toque, próximo ao ponto onde caiu um relâmpago, ou seja, a menos de 100 metros (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Conforme Pinto Jr. e Pinto, (2000, p. 147): “Tensões induzidas são produzidas em pontos no solo próximos ao local da queda do relâmpago quando o líder escalonado aproxima-se do solo. A tensão induzida sobre uma pessoa pode causar a ocorrência de uma descarga ascendente a partir da cabeça da pessoa, o que pode algumas vezes resultar em morte”. As sobretensões provocam descargas laterais, motivadas pelas diferenças de tensão entre o objeto percorrido pela corrente e algum outro objeto próximo. A forma mais comum de ocorrerem acidentes a partir de descargas laterais é nas árvores, quando uma pessoa está próxima (Pinto Jr. e Pinto, 2000). As tensões de passo e de toque estão relacionadas às diferenças de tensões induzidas pelos relâmpagos. As tensões são induzidas pelo solo e outras superfícies horizontais nas tensões de passo e na tensão de toque a carga é induzida ao longo da direção vertical. As tensões de passo são grandes causas de morte de animais. Além da morte, estes eventos podem provocar incêndios e interrupções nas linhas de transmissão de energia (Pinto Jr. e Pinto, 1996, 2000; Cacenot, 2002).

Conforme Pinto Jr. e Pinto (2000, p. 149): “A extensão dos danos causados pelo relâmpago a uma pessoa depende da intensidade da corrente, das partes do corpo afetadas, das condições físicas da vítima, e das condições específicas do incidente”. A média de pessoas que morrem por ser atingidas por relâmpagos é de 20 a 30%, sendo que muitas das sobreviventes não se recuperam totalmente, ficando com problemas cardíacos, mentais, no sono, perda de memória, paralisia muscular, etc (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

No caso dos relâmpagos em aviões, em geral as pessoas estão protegidas, visto que a carga flui pela parte externa do avião, o mesmo acontece com os carros não conversíveis. As pessoas devem evitar veículos abertos, como tratores, carros conversíveis, motocicletas, entre outros. Dentro de casa podem ocorrer cargas induzidas, devendo-se evitar qualquer contato com telefones, antenas, torneiras e ficar longe de paredes. No caso dos barcos, deve-se ligar o mastro ou um fio de cobre ao longo do mastro a uma placa metálica colocada em contato direto com a água e ficar longe de objetos metálicos, que também devem ser ligados à placa de metal, e ficar dentro da cabine se possível.

Os danos materiais causados pelos raios são enormes, só no Brasil estima-se que os prejuízos sejam de cerca de R\$ 500 milhões. Estes danos se referem às queimadas,

destruição de casas, queima de equipamentos eletrônicos, surtos e sobretensões em redes de energia, acidentes na aviação e na indústria espacial, poços de petróleo e plataformas, danos a sistemas de telefonia e telecomunicação, entre outros. Para tal o homem criou sistema para evitar que o raio atinja a estrutura diretamente, através dos pára-raios. Estes sistemas conduzem a carga do relâmpago até o solo, de modo a evitar danos.

Não são somente os relâmpagos que atingem o homem. Diversos estudos têm mostrado uma grande correlação entre o aumento da atividade de relâmpagos e a concentração populacional e das indústrias. Este fato está relacionado à maior emissão de gases para a Atmosfera como o CO<sub>2</sub>, o S entre outros. Além disto, nas áreas de grande ocupação humana vegetação natural é praticamente inexistente. No lugar da vegetação, são construídas estruturas sólidas, como edifícios e asfalto, afetando as condições de Tempo e Clima desta área. Com a grande urbanização a temperatura da superfície aumenta consideravelmente, visto que as estruturas de concreto ou os pavimentos rodoviários absorvem grande parte da energia incidente. Esta mudança da temperatura em escala local ou regional, no caso das grandes metrópoles, associado às ilhas de calor, têm-se uma modificação na estrutura e desenvolvimento das nuvens de tempestades.

Em estudos realizados nos Estados Unidos ficou comprovado o aumento da quantidade de relâmpagos e mudanças nas suas características em função da poluição associada à urbanização. O mesmo resultado foi obtido em estudos realizados na Espanha, porém sobre cidades de médio porte (Naccarato, 2002; Pinto Jr e Pinto, 2000). No Brasil os primeiros estudos sobre esta relação foram feitos em Minas Gerais e São Paulo, onde Naccarato *et al* (2003) obtiveram resultados que mostram um aumento significativo da quantidade de relâmpagos em áreas densamente povoadas. Além disto, verificaram um aumento da quantidade de relâmpagos positivos e uma diminuição da quantidade de relâmpagos negativos.

A explicação associada a este processo se refere à presença na Atmosfera de uma maior quantidade de aerossóis, de origem antrópica, que representaram uma maior quantidade de núcleos de condensação, conseqüentemente teremos uma maior concorrência pelo vapor de água, que leva a formação de gotas pequenas que irão demorar mais para precipitar, gerando maior quantidade de choques, com uma conseqüente geração de energia, ou seja, a estrutura elétrica das nuvens de tempestade é alterada em função do calor e pela maior presença de material particulado na Atmosfera.

### 3.16. RELÂMPAGOS E O MEIO AMBIENTE

Os relâmpagos são responsáveis por diversos fenômenos e por um equilíbrio elétrico do CEAG. As descargas atmosféricas ao longo da historia foram associadas a fenômenos metafísicos, bem como eventos de beleza natural. Mas a partir de 1752, quando Benjamin Franklin comprovou a natureza elétrica das nuvens de tempestade, muitos avanços foram obtidos a respeito da eletricidade atmosférica. Assim, descobriu-se a relação entre os relâmpagos e o equilíbrio elétrico entre a Terra e a Atmosfera. Isto porque os relâmpagos são responsáveis por manter carregado este grande capacitor. Pesquisas recentes têm mostrado evidencias de uma relação entre os relâmpagos e fenômenos acima das tempestades, como os *sprites*, E.L.V.E.S., jatos azuis e precursores azuis. Isto mostra que estes eventos podem estar relacionados com fenômenos de Média e Alta Atmosfera, como por exemplo à entrada dos *sferics* gerados por relâmpagos na Magnetosfera, formando as ondas conhecidas como *whistlers* que vão interagir com o plasma, sendo amplificadas, e interagindo com partículas



carregadas, fazendo com que estas precipitem na Atmosfera, desta forma mantendo o equilíbrio dos cinturões de radiação (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Os relâmpagos são responsáveis por mudanças químicas da Atmosfera, como quebra dos átomos de Nitrogênio e Oxigênio, possibilitando novas combinações e a formação de novos elementos. Como por exemplo, a combinação entre o Nitrogênio e o Oxigênio, NO, que são carregados pela chuva até o solo e são absorvidos pelas plantas, por ano cerca de 10.000.000 de toneladas de NO são levados ao solo, fertilizando-o, no Globo inteiro. A formação do NO é mais importante em termos de percentuais sobre os oceanos, onde esta é a principal fonte. Esta produção de NO pode ter sido mais relevante no passado do Planeta (Pinto Jr. e Pinto, 2000). Uma outra forma dos relâmpagos interferirem na Química da Atmosfera é através de incêndios provocados pelas descargas. Esta forma indireta de interferir na dinâmica das convecções e na presença de umidade no ar, provocando modificações na Atmosfera em nível global, devido à ação dos ventos/correntes/jatos de ar.

Mas não são somente os relâmpagos que interferem na Terra e na Atmosfera, mas estes também são influenciados pelas variações físico-químicas da Atmosfera. Fenômenos como o “El-niño” e “La-niña” provocam variações na atividade de relâmpagos. Podem sofrer influência das variações na atividade solar, podendo causar um aumento do número de descargas atmosféricas nos períodos de maior atividade solar, como por exemplo nos ciclos de 11 anos do Sol.

Os relâmpagos são afetados por grandes incêndios, que modificam a quantidade de poeira e aerossóis na Atmosfera, interferindo principalmente na formação e eletrificação das nuvens. Estas variações na quantidade de poeiras e aerossóis podem ter sua origem tanto relacionada a emissões vulcânicas, queimadas naturais como a combustão de carbono pelo homem.

### 3.17. MÉTODOS DE PROTEÇÃO

Os raios são um dos maiores causadores de prejuízos e mortes naturais no mundo, só no Brasil, estima-se que mais de 100 milhões de relâmpagos atinjam o solo por ano, conferindo ao Brasil o título de País com maior incidência de relâmpagos por ano. Cerca de 100 pessoas morrem a cada ano em função dos relâmpagos e cerca de R\$500 milhões em prejuízos só no Brasil. Desta forma, os métodos de proteção contra estes eventos são de capital importância, visto os benefícios que podem gerar (Pinto Jr. e Pinto, 1996 e 2000; Cacenet 2002)

As normas para os sistemas de proteção são regidas a nível internacional pela IEC, International Electrotechnical Commission. Ao nível nacional cada país possui suas entidades para reger as normas. No Brasil temos a ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. No Brasil a norma que serve de base para os métodos de proteção é a NBR 5419/93. Assim, esta norma estabelece os níveis de proteção a ser implantados em determinadas edificações (Cacenet, 2002).

Em um sistema de proteção é importante considera seus componentes, que são: Sistemas de captores, os sistemas de descidas e os sistemas de aterramento. Existem outros meios de dividir estes componentes, quanto a sua natureza, classificados em componentes naturais e em componentes especiais. Os naturais são aqueles inerentes à estrutura e que podem ser utilizados para aumentar a eficiência da proteção e os especiais são aqueles colocados especificamente para receber a descarga, ou seja, os captores, sistema de descida e o aterramento. Existem dois métodos de proteção, a proteção isolada, onde os componentes do sistema de proteção são colocados ao lado ou acima da edificação e a não isolada, dada

quando os componentes do sistema de proteção são colocados diretamente sobre a estrutura a ser protegida. Entre os métodos de proteção mais conhecidos temos do método de Franklin, o eletromagnético e o da gaiola de Faraday (Cacenet, 2002; Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Os captosres são responsáveis por receber as descargas atmosféricas evitando que atinjam a estrutura. Devem apresentar capacidade térmica para suportar a alta temperatura a que são expostos no momento do raio e resistir aos esforços eletromecânicos resultantes. É necessária que o captor seja resistente a corrosão, pois está exposto as intempéries em tempo integral, sendo necessário considerar o nível e o tipo de poluição do local. Os captosres podem ser naturais ou artificiais. Os captosres artificiais são representados pelos métodos de proteção planejados e que evitam a penetração da descarga na edificação e como captosres naturais temos como exemplo as coberturas metálicas, elementos metálicos da construção do teto, calhas, rufos, e parafeitos, tanques (Cacenet, 2002).

Os sistemas de descida são responsáveis por conduzir as correntes dos captosres até o aterramento. Devem apresentar capacidade de resistir ao aquecimento gerado pela corrente, suportar os esforços eletromecânicos e apresentar boa resistência a corrosão. Um sistema de descida deve ser projetado a ponto de reduzir ao mínimo a probabilidade de ocorrer descargas laterais e de gerar campos eletromagnéticos intensos perigosos no interior da edificação.

O sistema de aterramento é responsável por dispersar a energia do relâmpago. Para tal é aterrado no solo de tal forma que possibilite o mínimo de probabilidade de tensões de passo e/ou toque e tensões perigosas. Assim, deve apresentar resistência quanto aos esforços eletromecânicos e a corrosão. Este último fator é bastante importante, visto que este componente do sistema esta sujeito a diferentes tipos de solos e agentes intempéricos.

### **3.17.1 Métodos de proteção**

A variação nos métodos de proteção se refere a uma variação na forma de captar a descarga, sendo que o sistema de descida e o sistema de aterramento permanecem os mesmos. Em geral existem dois meios de captar as descargas, um meio é baseado em captosres verticais e o outro consiste de captosres horizontais suspensos, como os que são colocados sobre as linhas de transmissão de energia, adotados pelos métodos Franklin e o eletromagnético, com captosres horizontais não suspensos, que formam uma malha apoiada na estrutura, sendo este o meio utilizado pelo método da gaiola de Faraday.

#### **3.17.1.1. Método Eletromagnético**

Este método surgiu a partir de observações, medidas, testes e ensaios em laboratório e do emprego de técnicas e modelagem matemática. Sendo esse o método mais recente utilizado pelos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Seu surgimento esta relacionado à necessidade de proteção das linhas de transmissão, sendo depois simplificado para ser utilizado em estruturas simples. Para as linhas de transmissão foi elaborado um software denominado de “líder progressivo”.

Assim, este modelo entende a nuvem como um conjunto de anéis concêntricos, que terão carga igual à da nuvem, onde o líder descendente sai do centro dos anéis em direção a terra através de um conjunto de degraus. Quando se aproxima do solo um líder vertical ascendente sai de um ponto aterrado e quando os dois líderes se encontram tem-se a descarga atmosférica. Segundo Cacenet (2002, p. 53). Neste método supõe-se que a Onda Líder Descendente caminha na direção vertical em direção a terra em saltos dentro de uma esfera cujo raio depende da carga da nuvem ou da corrente do raio e será desviado de uma

trajetória por algum objeto aterrado. A descarga se dará no ponto em que a esfera tocar esse objeto ou na terra aquele que for primeiro alcançado pela esfera; o raio da esfera é denominado distancia de atração ou distância de disrupção.

Neste modelo são consideradas hipóteses: só são considerados relâmpagos negativos que tiverem origem na nuvem, supõe-se que o líder descendente não apresenta ramificações e que é vertical, a descarga atmosférica ocorre numa esfera de raio igual à distância de disrupção, a descarga final atinge o ponto aterrado mais próximo independente de suas características físicas, supõe-se que as hastes verticais bem como os condutores horizontais têm o mesmo poder de atração e que a terra ou a estrutura aterrada podem ser atingidas com a mesma probabilidade (Rios *et al*, 2003).

### 3.17.1.2. Método de Franklin

Este método foi idealizado com base na proposta inicial de Benjamin Franklin, daí seu nome, que propunha um terminal agudo, pois acreditava ser mais atraente, baseado na lei das pontas, mas esta teoria de Franklin não estava correta, visto que foi provado em laboratório que um objeto arredondado é mais eficaz, fato atribuído à facilidade encontrada pelo líder vertical ascendente de sair do objeto. Assim, a eficiência do método esta diretamente relacionada com a altura da haste. Os ângulos de proteção variam com a altura da haste, sendo que a NBR-5419-1993 apresenta 4 níveis de proteção, considerando a altura da estrutura e os seus ângulos de proteção, conforme mostra a Tabela 4. Conforme Cacenet (2002, p. 51): “A área de proteção é praticamente a área do espaço equivalente a um círculo, cujo centro é a haste do pára-raios e cujo diâmetro é igual a quatro vezes a altura da montagem”.

Nível de proteção	Altura em metros				
	< 20	< 30	< 45	< 60	
I		25°	*	*	*
II		35°	35°	*	*
III		45°	35°	25°	*
IV		55°	45°	35°	25°

\* Estas estruturas não devem ser protegidas com o modelo de Franklin

Tabela 4 – Ângulos de proteção em função da altura

Fonte: Adaptado de Rios (2003)

### 3.17.1.3. Método da gaiola de Faraday

Este método baseia-se na teoria de Faraday, segundo a qual o campo no interior de uma determinada gaiola é nulo mesmo que uma alta corrente passa pelos seus condutores (Cacenet, 2002). Isto ocorre porque a corrente se distribui uniformemente pela gaiola. O campo é nulo no centro da gaiola, sendo que quanto mais próximo da borda, maior tende a ser o campo, devido à tensão induzida. A máxima proteção se obtém quando uma estrutura é envolvida por uma caixa metálica. Assim, o método consiste em interligar um sistema de captos horizontais, distribuídos sobre a superfície a ser protegida, assim a distância entre os captos depende o nível de proteção que se deseja. Nível I, 5 m, nível II 10 m, nível III 10 m e nível IV 20 m. As vantagens se referem a melhor eficiência e proteção, estética mais agradável, menor manutenção, etc (Cacenet, 2002).

### **3.19. EFEITO DOS RAIOS CÓSMICOS E TEMPESTADES SOLARES NA ATIVIDADE ELÉTRICA DA ATMOSFÉRA**

Os primeiros experimentos relacionando raios cósmicos e campo elétrico foram realizados em 1903, na África do Sul, por Schonland, usando um eletroscópio de ionização. Como resultado verificou uma redução de 20 a 30% da intensidade da radiação abaixo das tempestades de relâmpagos ativas. Em 1931/32 Schonland e Viljoen descobriram uma relação entre os pulsos do contador Geiger-Müller e relâmpagos distantes. Atualmente acredita-se que a influência dos raios cósmicos se manifeste mais entre as altitudes de 3 a 35 km, onde seu papel como ionizadores é significativo. Há pesquisas que sugerem sua influência na formação de núcleos de condensação, podem existem controvérsias a respeito deste tema.

## CAPITULO IV

### 4 RESULTADOS

#### 4.1. INTRODUÇÃO

As atividades desenvolvidas neste período abrangeram a produção científica, a familiarização com o software GrADS, TerraView, Surfer, Origin e outros utilizados na análise e interpretação dos fenômenos relacionados a Eletricidade Atmosférica, Meteorológicos e Climáticos. Foram produzidos trabalhos sobre a distribuição de relâmpagos no Rio Grande do Sul, análises verificando a essência do contraste na atividade de relâmpagos no litoral do Rio Grande do Sul e do oceano adjacente. Outros trabalhos foram produzidos, enfocando o Sistema de Detecção de Raios do Sul do Brasil, os métodos de detecção, a formação de fulguritos, sobre os fenômenos elétricos de alta Atmosfera, sobre os sistemas de detecção de fenômenos elétricos instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra e sobre a aplicação dos dados de relâmpagos no monitoramento e previsão de eventos atmosféricos. De forma análoga, a participação em palestras/reunião em Caxias do Sul, relacionada à Rede de Detecção de Raios do Sul do Brasil, em Santa Rosa, envolvendo o planejamento da Campanha Sprite Brasil, e a participação de diversos eventos, especialmente através da apresentação de trabalhos.

Cada uma destas atividades e trabalhos será comentada e/ou apresentada individualmente, na forma de diferentes seções deste Relatório Final de Atividades de Iniciação Científica.

#### 4.2. PARTICIPAÇÃO DE PALESTRAS

No âmbito da implantação da Rede de Detecção de Descargas Atmosféricas do Sul do Brasil, foram ministradas palestras para os participantes do projeto. Neste sentido, participamos de uma palestra ministrada na cidade de Caxias do Sul. A pauta da palestra ministrada pelo Dr. Osmar Pinto Junior foi relacionada à questão da Eletricidade Atmosférica, a aplicação e uso dos dados da rede que esta sendo implantada.

Tivemos a exposição do parecer do Centro de Meteorologia e Recursos Hídricos – CLIMERH, hoje incorporado ao Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – CIRAM que é um órgão vinculado a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI, responsável pela central de processamento dos dados a ser instalada. Neste sentido os representantes do CLIMERH expuseram os serviços e soluções possíveis de serem fornecidas, relacionado aos relâmpagos. Tivemos a participação de outros palestrantes, que procuraram verificar as necessidades de dada um dos parceiros do projeto. Esta última atividade foi realizada pelos representantes do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC.

Como resultados destacamos a interação como os representantes dos diferentes órgãos e empresas participantes do projeto, a atualização com relação ao andamento do projeto. As demandas de cada instituição serão avaliadas de forma individual, e o sistema irá gerar soluções específicas para os diferentes usuários. Dentro os usuários têm as empresas de energia elétrica, órgão de previsão de tempo, portos e aeroportos, prefeituras, defesa civil, produtos rurais, especialmente os produtos de maça e fumo, e os institutos de pesquisa e desenvolvimento.

### 4.3. PARTICIPAÇÃO NA CAMPANHA SPRITE BRASIL

A Campanha Sprite Brasil está sendo realizado através do trabalho conjunto de instituições Brasileiras e Norte-americanas. No Brasil o projeto é liderado pelo Dr. Osmar Pinto Junior, pesquisador o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT, onde lidera o Grupo de Eletricidade Atmosférica, dentro da Divisão de Geofísica Espacial, do Centro de Ciências Atmosféricas – ELAT/DGE/CEA – INPE, com sede em São José dos Campos – São Paulo. Devido a local da realização das pesquisas, a base operacional do projeto será no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE, sob coordenação geral do Dr. Nelson Jorge Schuch, localizado no município de Santa Maria – Rio Grande do Sul e no Observatório Espacial Sul OES/CRSPE – INPE, sediado no município de São Martinho da Serra, a Noroeste de Santa Maria. Entre as instituições Norte-americanas que participam do Projeto Sprite Brasil, são: University of Washington (Seattle – US), University of Utah (Utah – US), University of Alaska (Alaska – US).

A instalação de sensores/câmeras de alta resolução a campanha pretende registrar a ocorrência de fenômenos elétricos de alta Atmosfera, como Sprites, E.L.V.E.S. e Blue Jats. Uma breve discussão a respeito destes fenômenos será abordada em seguida. O Observatório Espacial Sul foi estrategicamente escolhido, tendo em vista a ocorrência de uma grande quantidade de tempestades a Oeste do OES (Inclusive Uruguaiana e Santa Rosa). O objetivo geral é registrar estes fenômenos que estão associados às tempestades. Como o Rio Grande do Sul, o Norte da Argentina, o Sul do Paraguai e o Uruguai apresentam uma grande quantidade de tempestades, é um local propício. A isto se soma o fato da detecção de uma Sprite na Serra Gaúcha na década de 90 pelo Ônibus Espacial da NASA (National Aeronautic Space Administration).

A Campanha Sprite Brasil prevê o lançamento de balões estratosféricos e a realização de filmagens com câmeras especiais, de diferentes pontos do Rio Grande do Sul. As filmagens por meio de câmeras instaladas em superfície visam focar o topo para cima das tempestades que ocorrem na região do Pampa Argentino e no Oeste do Rio Grande do Sul. Assim, a equipe organizadora do projeto selecionou alguns pontos de interesse para a instalação das câmeras. As cidades de Santa Rosa e de Uruguaiana foram selecionadas, por meio da avaliação de parâmetros técnicos, e foram feitas visitas a Instituições de Ensino Superior sediadas nestes municípios.

No município de Uruguaiana foi visitada e Pontifícia Universidade Católica – Uruguaiana – PUC-Uruguaiana. O acadêmico Vandoir Bourscheidt junto com o Dr. Nelson Jorge Schuch em reunião com os representantes desta Instituição. Como resultado foi firmado um acordo verbal, em que a PUC-Uruguaiana se comprometeu a ceder o espaço físico e apoio logístico para a realização do projeto. Maiores informações sobre este acordo são apresentadas no relatório de Iniciação Científica do bolsista Vandoir Bourscheidt.

Na visita a Santa Rosa, em 27 de Outubro de 2004, o resultado foi positivo. Em reunião com os representantes da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio

Grande do Sul – UNIJUI, eu, Fabio Marcelo Breunig e o Dr. Nelson Jorge Schuch, representante do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE, ficou decidido que a UNIJUI iria ceder um espaço físico, bem como apoio logístico e apoio técnico, como alunos e professores da Instituição.

Verificamos a infra-estrutura urbana da cidade, para receber o grupo de pesquisadores participantes do projeto, e verificamos que a cidade apresenta infra-estrutura hoteleira e de restaurantes para a boa realização das atividades.

A partir da reunião, foi elaborado um relatório com todas as informações sobre o município de Santa Rosa, sobre a UNIJUI, a localização do município em diversas escalas. Este relatório foi transmitido para os participantes do projeto. Assim, acreditamos que tivemos êxito, visto que conseguimos em ambos os convênios estabelecer bons contatos e garantir a participação de outras Instituições.

O Anexo 1 traz uma cópia do relatório redigido, com mais informações técnicas e teóricas.

#### **4.4. PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS**

Durante o ano de atividades, participamos de diversos eventos, destacando eventos locais, regionais, nacionais e internacionais. Em geral, nestes eventos sempre apresentamos trabalhos de Iniciação Científica. Como fruto destas participações destacamos a interação com cientistas de diversos países e regiões, alunos e o contato com os trabalhos científicos que estão sendo desenvolvidos por outras Instituições e/ou pesquisadores. A seguir segue uma lista dos eventos:

- GROUND'2004 and LPE. Interenational Conference on Grounding and Earthing & 1° International Conference on Lightning Physics and Effects. Belo Horizonte – Brasil.
- VI – SBCG. VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Aracajú – Brasil.
- XIX CRICTE. XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnologia em Engenharia. Curitiba – Brasil.
- XX JAI. XX Jornada Acadêmica Integrada. Santa Maria – Brasil.
- V SAI-CCNE. V Semana Acadêmica Integrada do Centro de Ciências Naturais e Exatas. Santa Maria – Brasil.
- V SiNaGeo. V Simpósio Nacional de Geomorfologia. Santa Maria – Brasil.
- I ESAGeo. I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. Santa Maria – Brasil.

#### **4.5. FAMILIARIZAÇÃO COM SOFTWARES**

A utilização de softwares novos, integrando novas informações e dados, é cada vez mais necessária. Para a produção de trabalhos originais, alguns aplicativos foram estudados. Dentre os principais aplicativos destacamos os aplicativos geoestatísticos SPRING, TerraView e SURFER. Os aplicativos IDL-ENVI, ORIGIN, AIM LOGGER e VIEWER foram estudados de forma mais superficial, visto que sua nossa necessidade não demandava o uso integral destes softwares. O software GrADS foi utilizado para elabora mapas sobre a distribuição de variáveis meteorológicas, como temperatura, pressão, umidade, ventos, entre outros.

O SPRING 4.1 (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas), que é um SIG (Sistema de Informações Geográficas), usado para processar imagens, análise espacial, consulta a bancos de dados espaciais, e modelagem numérica de terreno. Foi desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DPI/INPE. O SPRING é um software livre.

O aplicativos TerraView, de forma semelhante ao SPRING, possibilita trabalhar com dados espaciais, imagens, dados vetoriais e matriciais, etc. O software é elaborado sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib. Esse software foi utilizado para elaborar mapas da distribuição de raios e ilustrar características geográficas. O TerraView é um software livre, sob Licença Pública Geral do GNU.

O SURFER trabalha informações vetoriais e matriciais. Com este software foram elaboradas ilustrações sobre as características dos relâmpagos, com dados provenientes do sensor Lightning Imaging Sensor – LIS. Com este aplicativo foram combinados informações referentes à latitude e longitude, com radiância, eventos, tempo, grupos, e a combinação destas variáveis.

O Grid Analysis and Display System (GrADS), trabalha com dados de latitude, longitude, vertical e tempo, ou seja, permite a integração destas informações. Este aplicativo foi usado para elaborar mapas sobre a distribuição de variáveis meteorológicas, como temperatura, pressão, umidade, ventos meridionais, ventos zonais e ventos vetoriais, entre outros. É um software livre.

Os aplicativos AIM LOGGER (usado para registrar dados e armazenar em um arquivo) e o AIM VIEWER (usado para converter dados cvc para outros formatos e para visualizar dados registrados) foram usados para estudar os registros de descargas atmosféricas, campo elétrico e de incidência de raios cósmicos, dos equipamentos instalados no Observatório Espacial do Sul – OES, no âmbito da parceria Brasil-Japão.

O programa ORIGIN, desenvolvido pela Microcal, foi abordado de forma bastante sucinta, visto que suas ferramentas não permitiam combinar dados desejados e plotar estes em mapas referenciados. O mesmo vale para o programa IDL – ENVI, aplicativo multiuso de programação, combinado com um software de geoestatística. O IDL - Interactive Data Language, foi usado para tentar rodar o software LIS, fornecido gratuitamente pela NASA, que reconhece formatos “.hdf” em que os dados do sensor LIS são disponibilizados via Web ou FTP.]

## **4.6. PRODUÇÃO CIENTÍFICA**

Os trabalhos científicos desenvolvidos no período da bolsa de Iniciação Científica serão apresentados nesta Seção, onde as considerações metodológicas foram expostas no Capítulo 2, referente a Metodologia do trabalho.

### **4.6.1. Lightning activity as a function of the geographical characteristics at Rio Grande do Sul - Brazil**

Analisamos as características dos relâmpagos em função de vários parâmetros geográficos e meteorológicos, como relevo, precipitações e temperatura. Entretanto ressaltamos que o estudo foi baseado em dados de relâmpagos não discriminando relâmpagos que envolvem o solo e os que envolvem apenas a Atmosfera. A fonte de dados foi o sensor LIS. A Figura 51 mostra os resultados obtidos para o relevo e média dos 6 anos de relâmpagos.



Na região Nordeste se observou as menores densidades de relâmpagos. A maior densidade média anual foi verificada na Região Sudoeste. Em geral, no Oeste e no Sul do Rio Grande do Sul se têm as maiores densidades, no entanto, as altitudes são inferiores a 200 metros. Desta forma, não encontramos evidências de que a elevação do terreno implica num aumento no número de relâmpagos. Este resultado contrária estudos em outras regiões, conforme Gomes, 2003, Diendorfer e Schulz, 1998 e 1999. O resultado poder ser devido a não discriminação entre todos os tipos de relâmpagos, já que nos estudos acima citados, os autores consideraram apenas os relâmpagos que envolvem o solo. Estes resultados são apresentados na Figura 51 B.

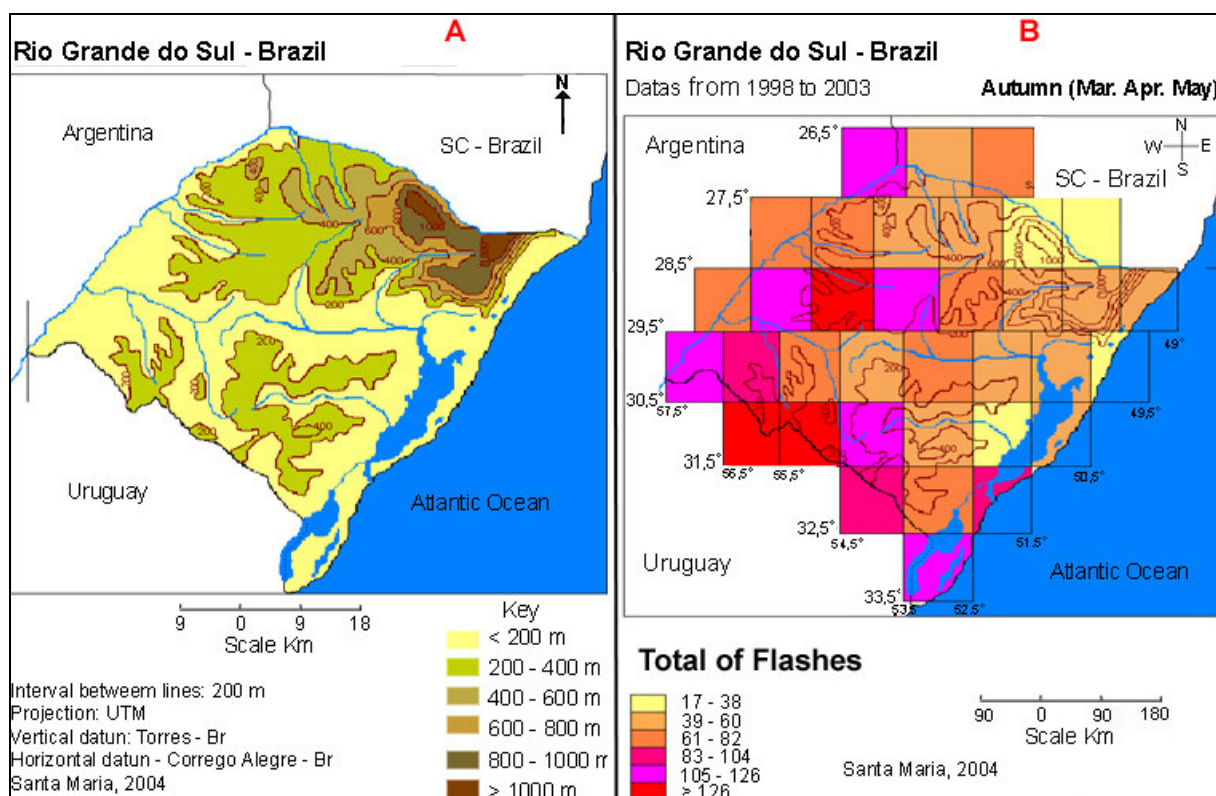


Figura 51 – A) Relevo do Rio Grande do Sul. B) Distribuição média de relâmpagos no Rio Grande do Sul, 1998 a 2003, com base em dados do sensor LIS.

Em relação às condições meteorológicas, sua influência na área estudada estar associada à passagem de frentes e a núcleos convectivos, que possibilitam o desenvolvimento de nuvens de tempestade, Cb. Uma possível explicação para as baixas densidades de relâmpagos no Nordeste do Rio Grande do Sul se refere à ascensão das massas de ar pela serra do Planalto Sul-rio-grandense onde as nuvens se resfriam e os centros de carga existentes dentro das nuvens podem ser descarregados, processo facilitado pela maior proximidade com a superfície. Assim, as nuvens chegam ao Nordeste do estado com carga reduzida e menor potencial elétrico para originar relâmpagos.

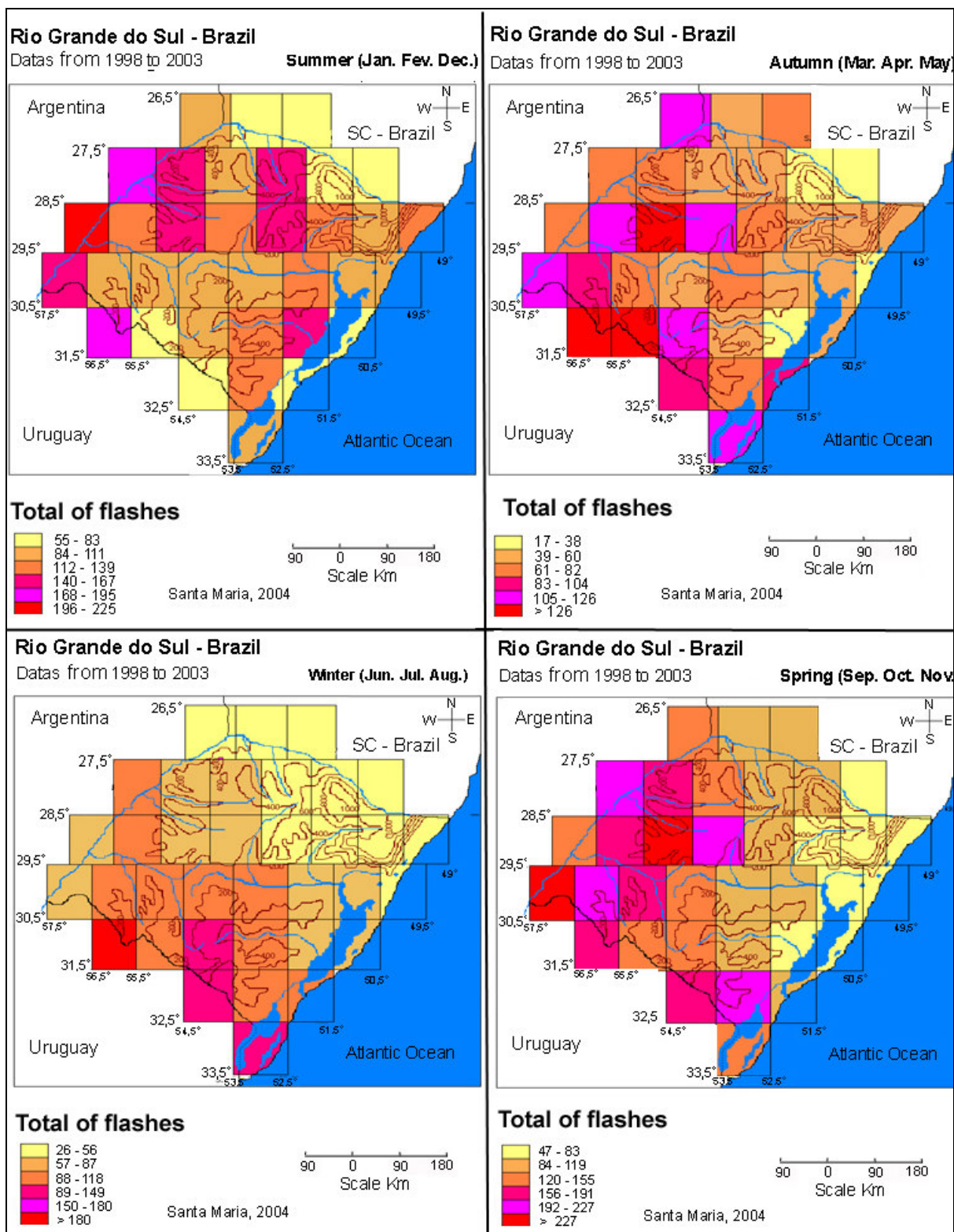


Figura 52 – Distribuição sazonal de relâmpagos no Rio Grande do Sul

Em relação a distribuição sazonal, apresentada na Figura 52 a seguinte interpretação pode ser feita: No Verão verificamos maior incidência no quadrante Nordeste, o que pode estar associado a altas temperaturas e maiores precipitações. Nesta estação também se verifica uma baixa atividade de descargas atmosféricas no extremo Sul do Rio Grande do

Sul. No Outono, os relâmpagos são mais numerosos no Oeste e Sudoeste. Nesta estação se verifica uma alta densidade no extremo Sul do Estado, porém sua distribuição quanto à altitude, não apresenta nenhuma diferença em relação às outras estações. No Inverno a atividade elétrica da atmosférica diminui bastante, e sua distribuição se concentra mais no quadrante Sul. Conseqüentemente tem-se uma ampliação das áreas com pouca incidência de relâmpagos. Uma baixa densidade de relâmpagos no litoral é verificada na Primavera, fato que pode estar associado à temperatura da superfície do mar, que esta em início de aquecimento. O Oeste do estado tem elevadas densidades, sendo que esta estação apresenta a maior densidade de relâmpagos, fato que pode estar associado ao início do aquecimento da superfície, impulsionado pelo aumento das temperaturas e as maiores precipitações que ocorrem no Oeste do Rio Grande do Sul nesta estação.

Conforme a Figura 53, o baixo número de relâmpagos no Nordeste do estado coincide com as áreas onde se verificam as mais baixas temperaturas e o alto número de relâmpagos no Oeste coincide com as mais altas temperaturas. Em relação às precipitações, Figura 54 verifica-se que os maiores índices pluviométricos se concentram no Norte do Estado, no entanto o número de descargas atmosféricas registradas para esta área é baixo. Este resultado pode estar relacionado ao fato de que o tipo de chuva mais freqüente no Rio Grande do Sul não é provocado por Cb. No Oeste e Extremo Sul, onde se têm baixos índices de precipitação, as descargas atmosféricas são mais numerosas, fato que pode estar associado à formação de núcleos de convecção locais, gerados pelas altas temperaturas, facilitados pela presença de umidade.

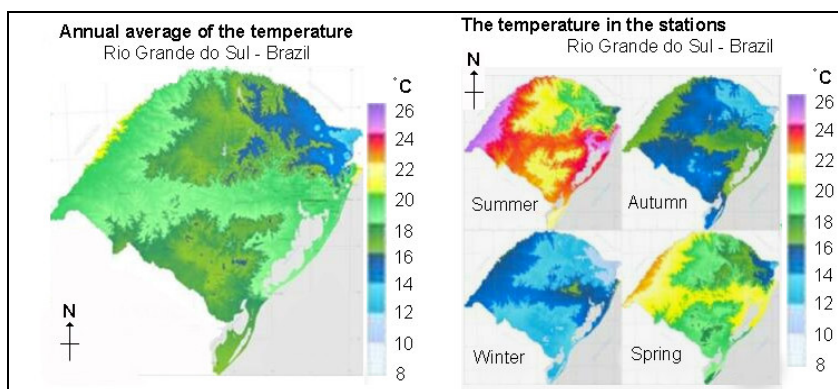


Figura 53 – Média das temperaturas sazonais e anuais

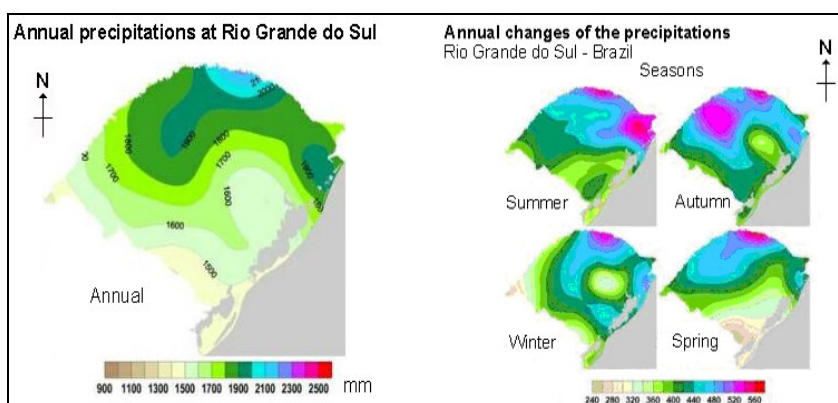


Figura 54 – Média das precipitações sazonais e anuais.

A partir do cálculo de parâmetros estatísticos para os seis anos considerados, verificou-se que no ano de 1999 o LIS registrou menos de 10.000 relâmpagos e no ano seguinte superou os 20.000 relâmpagos, sendo que a média para estes 6 anos foi de 15272,5 descargas atmosféricas por ano. Na Primavera a atividade de relâmpagos no Rio Grande do Sul é mais intensa que em qualquer outra estação do ano. Ao contrário do que se esperava, o Verão apresentou apenas segunda maior quantidade de relâmpagos no Estado. No Inverno tivemos as menores densidades de descargas atmosféricas na área estudada, seguida pelo Outono. Assim, as condições meteorológicas parecem determinar estas variações, marcadas pelo aquecimento na Primavera e Verão, associados a uma maior atividade convectiva e uma maior presença das Instabilidades Tropicais. No Outono e Inverno temos um resfriamento e um maior domínio da Massa Polar Atlântica, seca e fria, o que propicia baixa convecção e domínio das chuvas por passagens de frentes, sem a formação de Cbs, ou com reduzido número.

Desta forma não encontramos uma correlação entre o aumento do número de relâmpagos com o aumento da altitude, lembrando que todos os tipos de relâmpagos foram considerados. Outro fato é que as condições sinóticas determinam a dinâmica dos relâmpagos no Estado. As análises sazonais mostraram que na Primavera temos a maior densidade de relâmpagos, destacando os meses de Setembro de Outubro. O mês de junho apresenta as menores densidades. A distribuição espacial dos relâmpagos parece estar associada com a temperatura. Em relação a precipitação, não encontramos boas relações.

Fica claro a necessidade de novos estudos, abordando a questão dos relâmpagos relacionada as características geográficas. Isto poderá ser factível a partir da formação de um banco de dados, gerado pelas soluções que a Rede de Detecção de Raios do Sul do Brasil irá produzir.

#### **4.6.2. Contrast in atmospheric discharges over land and ocean at Rio Grande do Sul - Brazil**

Um contraste na atividade de relâmpagos pode ser identificado se considerarmos a superfície sobre a qual estes ocorrem. Para verificar o comportamento destas variações no Rio Grande do Sul, foram elaborados mapas com a distribuição de relâmpagos em áreas costeiras continentais, áreas de transição envolvendo terra e oceano e áreas costeiras litorâneas. Como resultados apresentamos algumas estatísticas sobre estas variações e comentários. O trabalho foi feito utilizando dados do sensor LIS, distribuídos de 0,5° quadrados. A região estudada se estende do litoral Sul ao litoral Norte do Rio Grande do Sul.

Considerando as Figuras 55 e 56 percebemos que é possível identificar uma variação na quantidade de relâmpagos em função do tipo de superfície. Assim, a maior quantidade foi encontrada nas superfícies continentais. Depois as áreas de transição e por fim, uma menor quantidade nas áreas oceânicas. Isto pode estar associado à temperatura da superfície, a quantidade de umidade, a altitude em que ocorre a condensação o vapor de água e ainda devemos considerar a presença de aerossóis, como partículas de sal, poeira entre outros.

Em termos sazonais as maiores variações são encontradas no verão e na primavera. Em termos de latitude, as áreas mais ao sul apresentaram as maiores densidades. Esta maior concentração parece estar associada a maior ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala, ciclogêneses e frontogêneses, que atuam com maior intensidade nestas áreas e nas estações acima mencionadas.

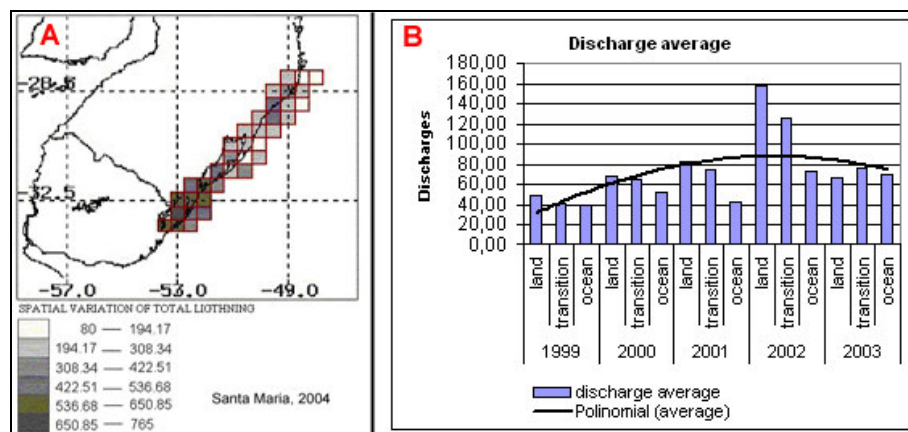


Figura 55 – A) Distribuição dos relâmpagos em função da latitude e tipo de superfície. B) Média das descargas, para os anos considerados, em função do tipo de superfície considerada.

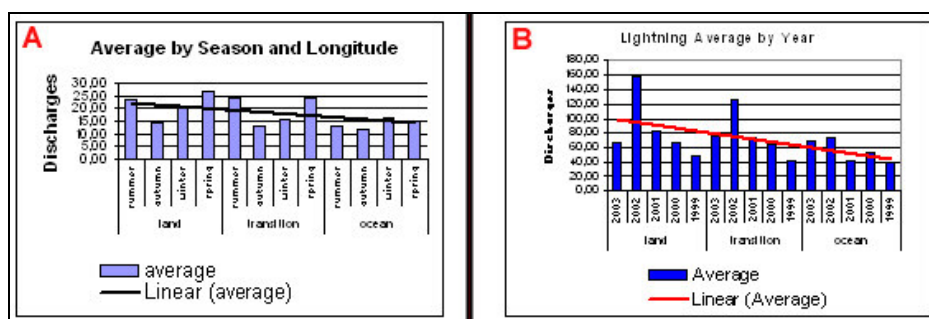


Figura – 56 A) Variação sazonal em função do tipo de superfície. B) Variação anual em função do tipo de superfície considerada.

Desta forma verificamos que as variações meteorológicas têm grande influência na distribuição de relâmpagos, tanto espacialmente como temporalmente. No entanto não afeta a variação entre superfície continental e superfície oceânica, que mantêm uma proporção, na atividade de relâmpagos.

#### 4.6.3. Uso de informações sobre relâmpagos para o monitoramento e previsão de eventos atmosféricos

Desastres naturais com sua gênese relacionada às condições atmosféricas são em grande parte evitados onde existem sistemas de alerta sobre perigos de tempestades e tornado. Os Sistemas de Detecção e Monitoramento de Relâmpagos permitem estas previsões. Com o entendimento da dinâmica das tempestades de relâmpagos e a integração de informações sobre diversos parâmetros atmosféricos vêm se obtendo resultados positivos. No Brasil os sistemas de detecção de relâmpagos são mais difundidos na Região Sudeste, no Paraná e em Rondônia. Em 2004 entrou em operação a RINDAT gerando soluções em tempo real. Em âmbito Global, o monitoramento dos relâmpagos fornece informações úteis para auxiliar os estudos sobre o Aquecimento Global, produção e destruição de Ozônio. Assim propomos o uso de dados de relâmpagos para monitorar e prever essas condições atmosféricas.

Os Sistemas de Localização de Tempestades – SLT são utilizados nos Estados Unidos, Alemanha, Áustria, França, Japão, Reino Unido, Região Sudeste do Brasil. As informações geradas permitem entender como os relâmpagos se distribuem ao longo do ano e no espaço, e como se associam às características geográficas. Os dados gerados são aplicados

em diversos setores, como para o planejamento de equipamentos e rotas aéreas, posicionamento de equipes de reparo, sistemas de alerta a população, etc. Há evidências de que as tempestades de granizo, muito prejudiciais à agricultura, podem estar associadas a um determinado comportamento da atividade de relâmpagos e, portanto, essas tempestades poderiam ser previstas e/ou evitadas através de modernas técnicas, como a “injeção” de material particulado nas nuvens, provocando chuva e evitando o desenvolvimento do granizo. Ainda podem ser aplicados para apurar a origem de focos de incêndios em áreas florestais, campos ou edificações.

Os relâmpagos podem ser utilizados como um dos parâmetros para fazer previsões de tempo, principalmente em situações extremas, como muitas tempestades convectivas. A Figura 57 mostra o acompanhamento da atividade de relâmpagos associados a uma ciclogênese local (Abdolaev, 2001). Podem ser úteis para estimar o potencial de precipitações. Os aeroportos podem suspender as atividades em situações de alto risco, provocado tanto por relâmpagos como pelas corrente-rajadas ascendentes e descendentes de vento. Além de reorientar rotas aéreas, evitando atravessar células de tempestade.

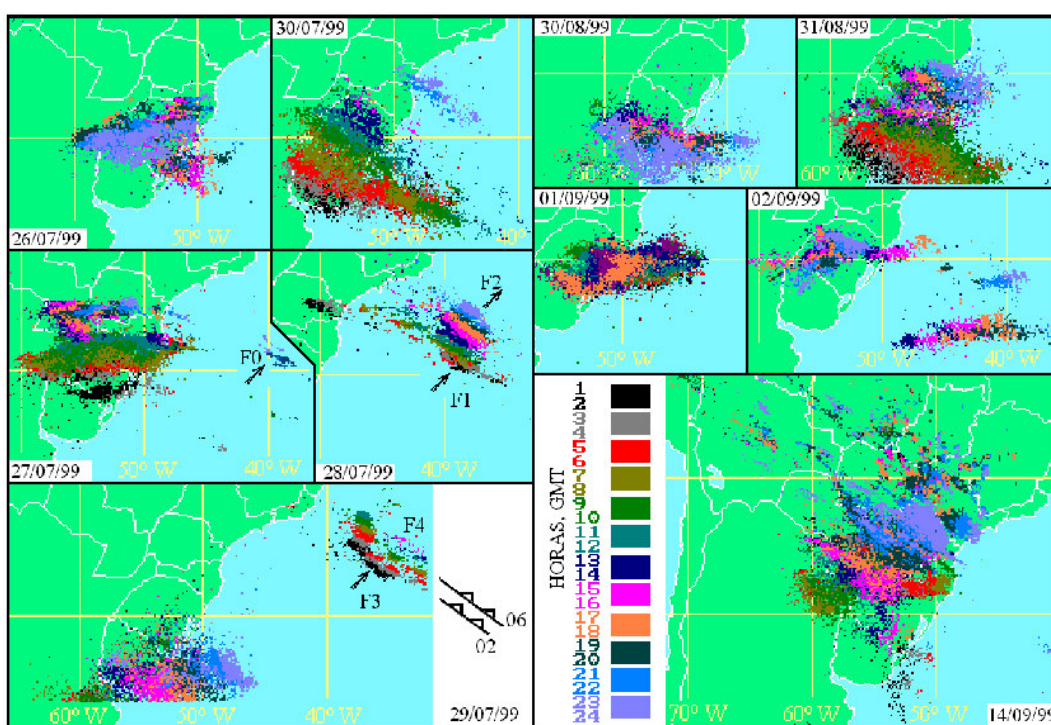


Figura 57 – Campos Acumulados das Descargas durante ciclogênese local.

Fonte: Abdolaev *et al* (2001, p. 83)

A utilização de Redes Neurais Artificiais – RNA, conforme sugerido por Bomfin Jr. (2004) é uma possibilidade. Com uma RNA associou dados de refletividade de radares meteorológicos e aos de descargas atmosféricas. Utilizando um algoritmo de *Backpropagation* para fazer a integração, Bomfin Jr. obteve boa correlação (em torno de 80%) e sugere que esta pode ser uma ferramenta auxiliar na previsão do tempo, conforme Figura 58. Sugere ainda a utilização de Redes de Funções Radiais de Base – RBF.

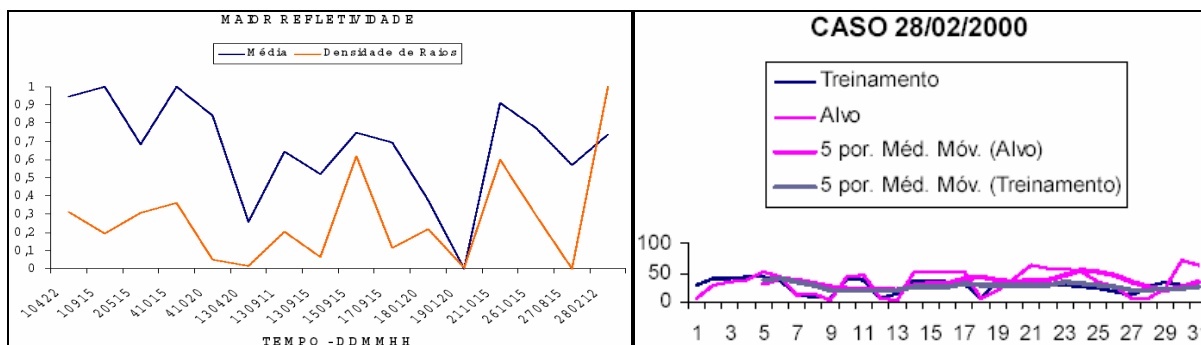


Figura 58 – Valores máximos da média de refletividade e densidade de raios e Ativação de Echotop de 28/02/2000.

Fonte: Bomfin Jr. (2004, p. 94 e 104)

A atividade de relâmpagos pode ser utilizada para acompanhar as variações de temperatura na Atmosfera, visto que a quantidade de relâmpagos tende a crescer com o aumento da temperatura. Como as mudanças climáticas afetam a ocorrência de eventos atmosféricos, muitos *Frameworks* vêm sendo elaborados para modelar estes eventos e a vulnerabilidade e adaptabilidade (V&A) considerando diferentes *inputs*. A variação na distribuição temporal e espacial dos relâmpagos, bem como variações em seus parâmetros de análise, pode ser utilizada para estudar fenômenos relacionados ao aquecimento Global, El Nino, La Nina, Ciclones tropicais, entre outros. As Figuras 59 e 60 mostram os resultados encontrados, ou seja, a distribuição Global dos relâmpagos nos anos de 1998 a 2003, com dados obtidos do sensor LIS.

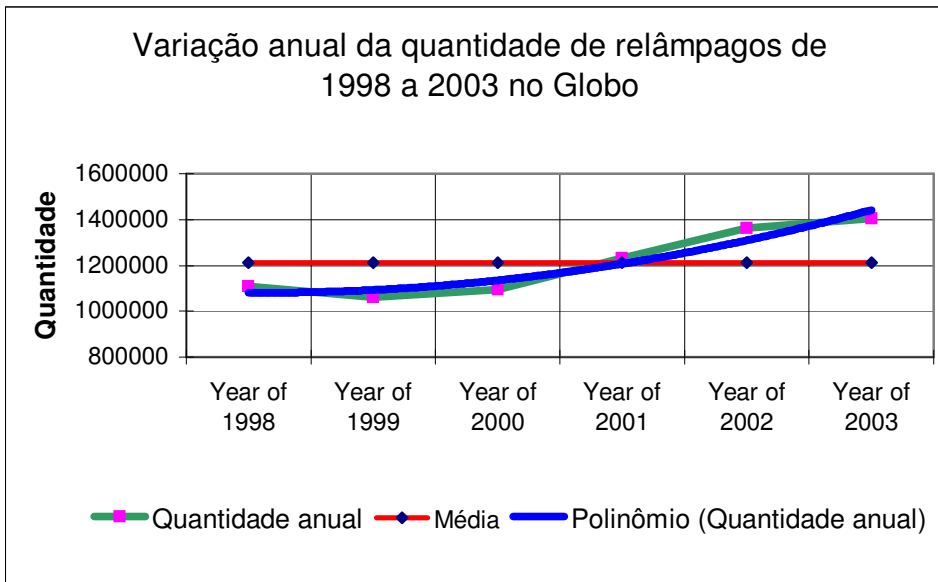


Figura 59 – Distribuição Global dos relâmpagos para os anos de 1998 a 2003, com base em dados do sensor LIS.

Baseado nas Figuras 59 e 60 verificou-se a tendência de aumento da quantidade de relâmpagos. Portanto, podemos estabelecer uma relação com o Aquecimento Global. Porém, o aumento da quantidade de material particulado na Atmosfera pode estar contribuindo para este aumento.

Por fim, devemos destacar a importância destes estudos para a comunidade científica, onde os relâmpagos constituem o principal mecanismo de manutenção do Circuito Elétrico Atmosférico Global – CEAG, gerando bases para a Ciência Pura e Aplicada.

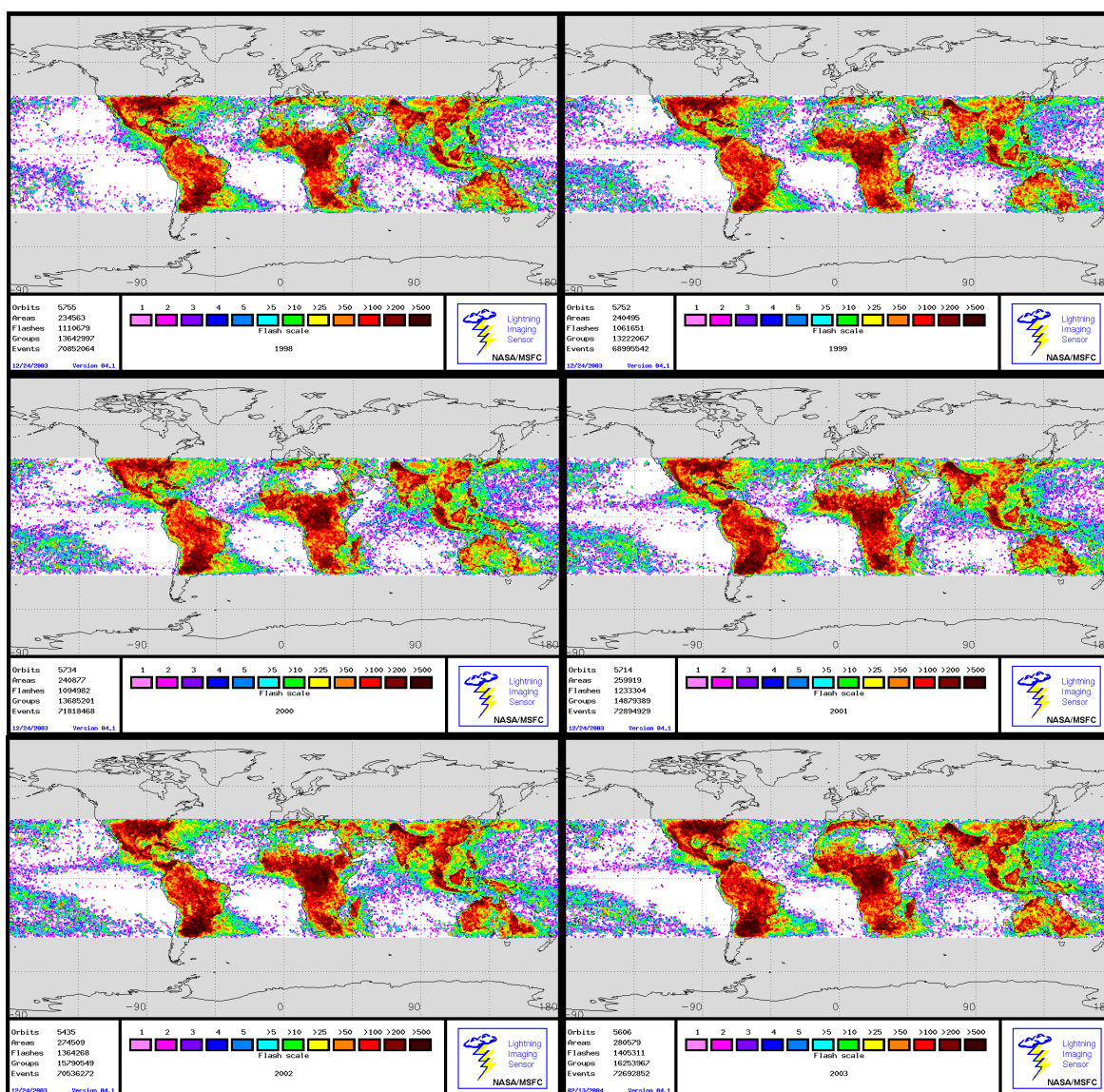


Figura. 60 – Dados sobre o total anual de relâmpagos para os anos de 1998 a 2003.

Fonte: The v1. gridded satellite lightning data were produced by the NASA LIS/OTD Science Team (Principal Investigator, Dr. Hugh J. Christian, NASA / Marshall Space Flight Center) and are available from the Global Hydrology Resource Center (<http://ghrc.msfc.nasa.gov>).

Com base nos resultados e informações obtidas verificou-se que a utilização das informações sobre as descargas atmosféricas pode ser uma ferramenta para monitorar, identificar e estudar fenômenos atmosféricos. Com a identificação prévia de eventos atmosféricos de grande potencial de destruição, é possível alertar a população e evitar danos econômicos. No que tange ao estudo do Aquecimento Global e outros fenômenos de maior abrangência. Demonstramos a possível relação entre a quantidade de descargas atmosféricas detectadas e o aumento da temperatura Global média. Portanto essas informações são relevantes, pois derivam de um fenômeno que é diretamente afetado pelas variações de



temperatura e presença de material particulado na Atmosfera, evidenciando sua importância para tais estudos.

#### **4.6.4. Eletricidade Atmosférica – Sistemas de detecção na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul**

Neste estudo apresentamos os sistemas de detecção de fenômenos elétricos instalados em no OES. O Detector Unidirecional de Raios Cósmicos, que consiste em um instrumento que detecta as partículas que incidem numa placa de material cintilante. O sinal detectado é amplificado e digitalizado. Este detector possui duas placas: Uma onde todas as partículas cósmicas são detectadas e outra onde apenas as partículas de alta energia, como os Muons, são detectadas, isto porque entre as duas placas existe uma placa de alumínio que impede a passagem de partículas de baixa energia. O Detector de Relâmpagos detecta o sinal eletromagnético produzido pelos relâmpagos, fornecendo informações sobre a quantidade de relâmpagos e a localização por quadrante (NxS; LxO). O detector de Campo Elétrico Atmosférico Superficial, conhecido como “Field Mill”, detecta o Campo Elétrico presente na Atmosfera. O princípio de funcionamento consiste em um plano rotacional vazado, rotor, que gira sobre um plano rotacional completo, onde o campo elétrico consiste na diferença de potencial produzida quando os dois pontos vazados sobrepõem o plano. O sinal detectado é amplificado e digitalizado. A partir dos dados detectados podemos elaborar uma série de estatísticas que evidenciam especificidades das características elétricas da Atmosfera no Observatório Espacial do Sul.

#### **4.6.5. Diferentes tipos de sensores de superfície usados na detecção de relâmpagos**

Apresentamos uma breve revisão sobre os principais métodos de detecção de relâmpagos existentes, considerando os sensores de superfície. Em geral existem três métodos para determinar os parâmetros dos relâmpagos, todos baseados na radiação EletroMagnética – EM, gerada pelos relâmpagos. O método MDF, *Magnetic Direction Finder*, usa a radiação EM para determinar um ângulo de azimute em relação ao Norte geográfico, e estima a localização no ponto onde existe a intersecção entre dois vetores de direção, no entanto, quando existem três ou mais sensores participantes, o sistema otimiza a solução. Um segundo método denominado de TOA, *Time Of Arival*, usa a radiação EM para calcular o tempo de chegada da radiação ao sensor e a partir de um algoritmo gera soluções baseado em intersecções hiperbólicas ou circulares. O terceiro método de detecção é conhecido como ALDF, *Advanced Lightning Direction Finder*, ou IMPAC, devido o nome dos sensores. Este método combina os métodos MDF e TOA, gerando soluções mais precisas do que qualquer método individualmente. Desta forma, perante a instalação do Sistema de Detecção de Relâmpagos do Sul do Brasil, estes estudos são relevantes. A rede em fase final de instalação contará com sensores do tipo IMPAC e uma rede individualizada, mas que poderá ser integrada, de sensores do tipo SAFIR, instalada em Santa Catarina.

#### **4.6.6. Sistema de detecção de raios do Sul do Brasil**

Este trabalho foi submetido ao SICINPE-2004, onde apresentamos algumas características dos relâmpagos, sua dinâmica e distribuição no estado do Rio Grande do Sul. Os relâmpagos nesta Região apresentam um comportamento anômalo, quando comparado a outras Regiões de mesma latitude, ou seja, apresenta uma quantidade maior de descargas

atmosféricas. Outro ponto enfatizado se refere a grande variação sazonal dos relâmpagos, onde verificamos uma grande variação do Verão e Primavera, estações com a maior quantidade de relâmpagos, em relação aos meses de Inverno, destacando o mês de Julho que apresentou a menor incidência de relâmpagos. Foram feitas análises em relação à altitude do terreno, temperatura e precipitações anuais em relação à variação da quantidade de relâmpagos. Neste sentido, o resultado mostrou que há relação entre a incidência de relâmpagos e a temperatura. No entanto não verificamos evidências de aumento do número de relâmpagos com a altitude. Paralelo a isto buscamos analisar a distribuição dos sensores da Rede a ser instalada no Sul do Brasil, através da elaboração de mapas e demonstração do princípio de funcionamento dos sensores que estão sendo instalados, IMPAC-ESP e SAFIR, ambos os produtos da empresa Vaisala. Maiores detalhes sobre o Sistema de Detecção de Raios do Sul do Brasil serão apresentados numa seção seguinte.

#### **4.6.7. Formação de Fulguritos no Rio Grande do Sul**

A partir de uma abordagem geológica, buscamos mostrar a formação e possível distribuição de Fulguritos no Rio Grande do Sul. Os Fulguritos (*Lechatelierita*) são formados a partir das descargas elétricas que, ao entrarem em contato com o solo ou rocha, provocam um “metamorfismo” de pequena escala, formando novas formas com características vítreas. A formação destes minerais ocorre especialmente em regiões arenosas, com solos compostos principalmente de Silicatos, onde o alto aquecimento faz fundir-se a Sílica. Geralmente assumem a forma de tubos, com diâmetro de alguns centímetros e comprimento de alguns metros. Quanto mais compacta for a areia, maior a chance de se formarem os Fulguritos. Considerando a evolução geológica do Rio Grande do Sul, verificamos a existência do Deserto Botucatu, que poderia ter propiciado a formação de Fulguritos. Atualmente estas áreas, do antigo deserto, afloram no Oeste do Estado. Outro ponto passível da formação de fulguritos são as áreas litorâneas do Estado.

#### **4.6.8. Relâmpagos: Importância e Aplicações**

No intuito de divulgar a importância e as possíveis formas de aplicação dos dados de relâmpagos, elaboramos um trabalho mostrando como informações e dados a respeito dos relâmpagos permitem planejar ações de revisão e conserto de danos em linhas de transmissão. Outro potencial de aplicação de seus resultados refere-se ao planejamento e monitoramento de linhas aéreas, onde se tem a possibilidades de uma verificação em tempo real ou por reprocessamento. Podemos citar os benefícios em relação à proteção de edificações. Acrescentamos ainda os impactos ao meio natural, que se evidenciam através de incêndios com gênese relacionada a relâmpagos. Entre os setores e aplicações dos estudos e informações temos o setor de energia, onde este fenômeno causa grandes prejuízos, visto que em uma estimativa apresentada por G. Diendorfer, 25% das interrupções no fornecimento de energia elétrica na Áustria estão relacionadas às descargas atmosféricas. Através do monitoramento dos relâmpagos é possível pré-posicionar equipes de manutenção; O setor de telecomunicações é beneficiado, visto que grande parte das interrupções nas comunicações possui relação com os relâmpagos, além das interferências que causam; Os dados podem ser utilizados para auxiliar na previsão do tempo. Em situações atmosféricas extremas os dados da atividade elétrica na nuvem podem ser um dos indicadores de granizo. As agências meteorológicas e hidrológicas podem utilizar estes dados para gerar soluções mais confiáveis; Na aviação estes dados podem auxiliar na definição de rotas aéreas, redefinição ou

cancelamento de vôos; Podem ser aplicados no monitoramento de incêndios, bem como para apurar as causas de tais incêndios; No planejamento de sistemas de proteção; Os relâmpagos podem ser um parâmetro para estudar e monitorar as variações climáticas que estão ocorrendo nos últimos anos. São importantes para os estudos climáticos em áreas urbanas; Outro ponto de capital importância refere-se à contribuição para as pesquisas científicas, visto que estes fenômenos possuem relação direta com a manutenção do Circuito Elétrico Atmosférico Global. Desta forma as informações desta natureza são relevantes por apresentarem aplicação, tanto no âmbito científico, ajudando a explicar fenômenos ainda não totalmente conhecidos, como para a aplicação direta, em estações meteorológicas, aeroportos, empresas de energia e de telecomunicações, e das redes de detecção de relâmpagos, gerando soluções mais confiáveis e precisas.

#### 4.6.9. Um caso de tempestade em Santa Maria – RS – Brasil

A dinâmica atmosférica muitas vezes produz fenômenos extremos, que implicam desastres naturais e mortes, dependendo de sua magnitude. Apresentamos uma rápida abordagem da tempestade que ocorreu na cidade de Santa Maria no dia 11 de Setembro de 2002, analisando dados GrADS – CDC, relacionados a temperatura, pressão, ventos, umidade e cobertura de nuvens, em escala sinótica. Estes dados foram plotados e analisados. Como resultados apresentados o enquadramento desta tempestade na escala Fujita e na escala TORRO, discussões sobre as características e evolução dinâmica da Atmosfera. Assim, dada a localização de Santa Maria, entre as latitudes de 29°23'00" a 30°00'00" Sul e longitudes de 53°15'00" a 54°00'00" Oeste e a escala de classificação TORRO e Fujita, Tabela 5, apresentamos os resultados obtidos.

Escala FUJITA e ESCALA TORRO												
Efeitos	-						-					
Percepção	"Fracó"				Forte				Violento			
Fujita	F0		F1		F2		F3		F4		F5	
Torro	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
m/s	7- 25	25- 33	33- 42	42- 51	51- 61	61- 71	71- 82	82- 93	93- 105	105- 117	117- 130	130- 145

Tabela 5 – Escala de classificação Fujita e TORRO

Fonte: Adaptado de Nikolai Dotzek, 2000.

Primeiramente apresentamos uma breve discussão sobre os diferentes mapas analisados com base em mapas das médias diárias e seguindo com a discussão sobre a configuração das condições atmosféricas para diferentes horas do dia. Os mapas referem-se essencialmente ao dia 11 de Setembro de 2002, porém para a análise plotamos mapas para os dias anteriores e posteriores. Grande parte destes mapas não é apresentada neste trabalho.

As médias diárias de precipitação em superfície, apresentadas na Figura 61, nos mostra a evolução de sudeste para Noroeste da precipitação. Assim, no dia 11 de Setembro de 2002, uma concentração é verificada no Oeste do Rio Grande do Sul, chegando a valores superiores a 45 Kg/m<sup>2</sup>.

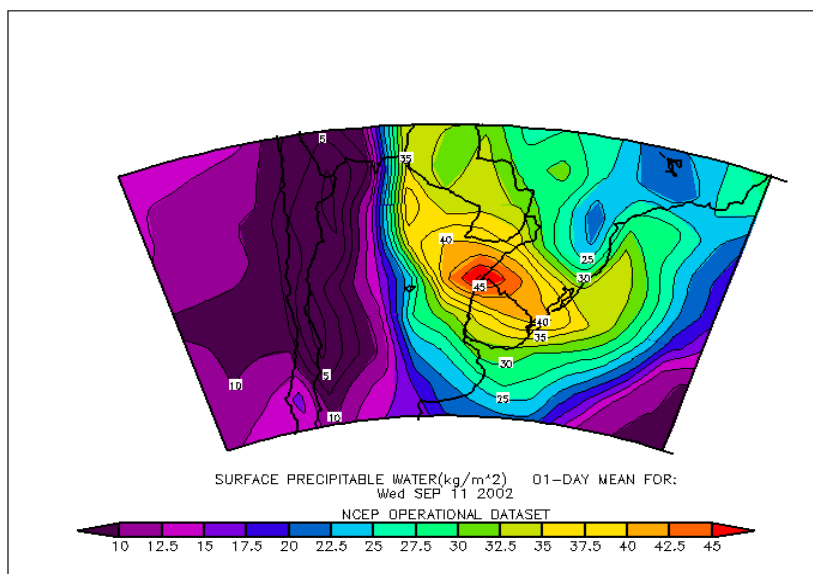


Figura 61 – Total diário de precipitação para o dia 11 de Setembro.

O comportamento da pressão atmosférica em superfície é mostrado na Figura 62. Percebemos que tanto para a média do dia 11 quanto da média dos 5 dias existe um núcleo de baixa pressão no noroeste do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Os valores chegam a cerca de 930 mb. Em Santa Maria, no dia 11 de setembro a pressão média foi de menos de 1000 mb. Esta baixa se acentuou mais ainda na hora da tempestade, o que provocou fortes ventos na região de Santa Maria. As informações sobre os ventos serão apresentadas em seguida, de forma a integrar todas as variáveis.

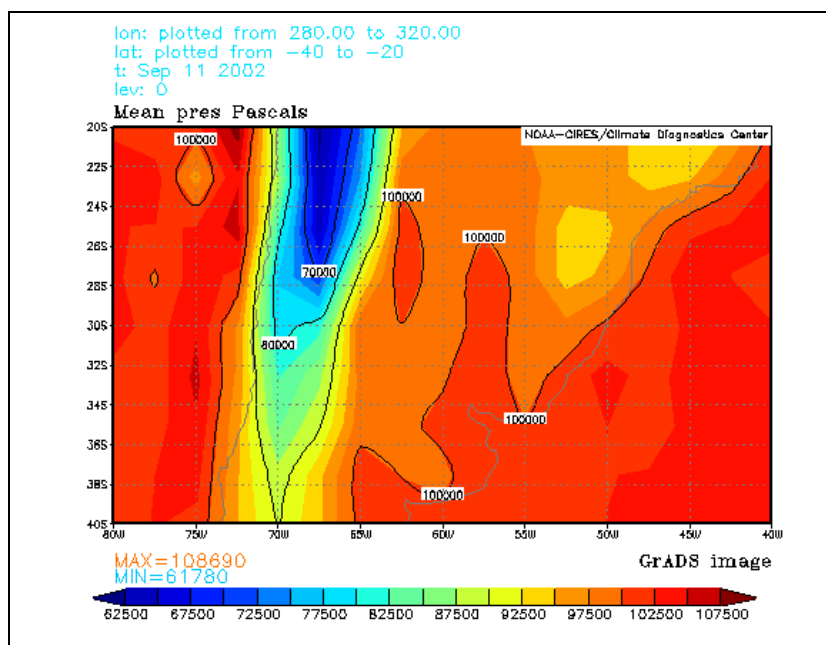


Figura 62 - Pressão medida nas estações, para o dia 11 de Setembro

Em relação à temperatura, os mapas CDC-GrADS mostram que no dia 11 a média de temperatura foi de cerca de 20°C. Este valor foi superior à média da temperatura antes e

depois da tempestade, sendo que isto pode ser visto na Figura 63. Com a elevação da temperatura tivemos uma diminuição da pressão em superfície, conforme mostrado na Figura 62. Esta diminuição de temperatura provoca uma aceleração dos ventos na direção das áreas de baixa pressão.

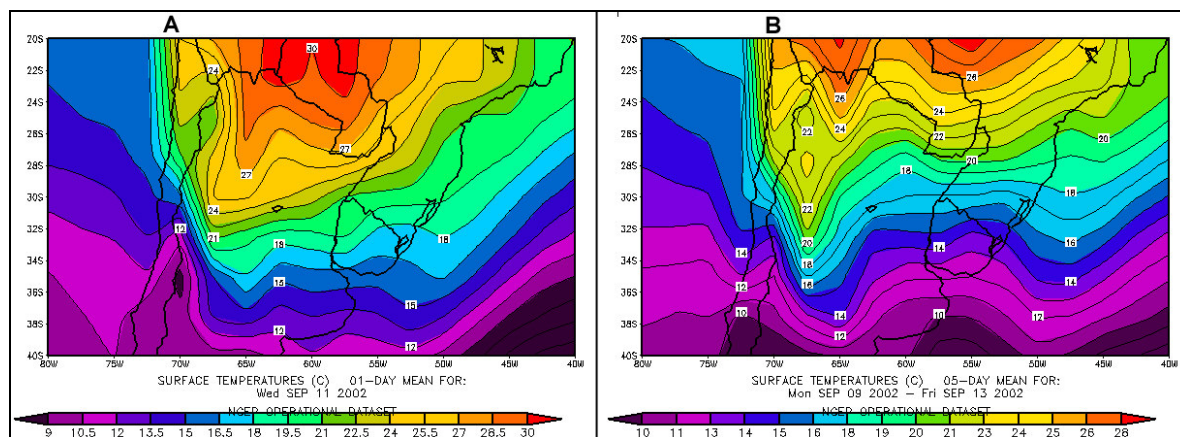


Figura 63 – A) Temperatura média do ar para o dia 11 de setembro, em superfície. B) Temperatura média para os dias 09 a 13 de setembro, em superfície.

A umidade relativa em Santa Maria no dia 11 foi de cerca de 80% e na média dos 5 dias o total ficou em cerca de 70%. No momento da tempestade ocorreu a saturação do ar, provocando chuvas intensas e ventos. As células que apresentam maior concentração de umidade coincidem com as áreas de mais baixa pressão, conforme a Figura 62. A umidade relativa deve sempre ser confrontada com a temperatura, visto que é calculada a partir da temperatura da Atmosfera no instante de medida. O valor de cerca de 20°C, associado a alta concentração de umidade pode ter favorecido o desenvolvimento da tempestade. Os campos de ventos no dia 11 de Setembro apresentaram uma velocidade média de 7 m/s. No dia 11 havia um centro de ventos mais intensos na latitude da foz do Rio da Prata, apresentando ventos com velocidade superior a 18 m/s.

Sem relacionar outros dados percebemos que é muito difícil inferir maiores informações sobre esta tempestade, que foi de pequena escala espacial e temporal. Assim, com informações de diferentes horários, apresentamos aspectos mais detalhados sobre o evento. Outra fonte de dados que apresentaremos é a imagem de satélite e a carta de superfície METAR da aeronáutica, de forma a ampliarmos a base para estudar este fenômeno isolado que atingiu a cidade de Santa Maria em Setembro de 2002.

A temperatura potencial foi avaliada para as 12h00minh UT, considerando o horário da tempestade. Apresentando no momento da tempestade uma temperatura potencial da ordem de cerca de 295 degK, conforme pode ser visto na Figura 64. Esta temperatura representa a temperatura que a Atmosfera teria se toda a umidade presente numa parcela de ar condensasse e a energia liberada fosse usada para aquecer esta parcela de ar.

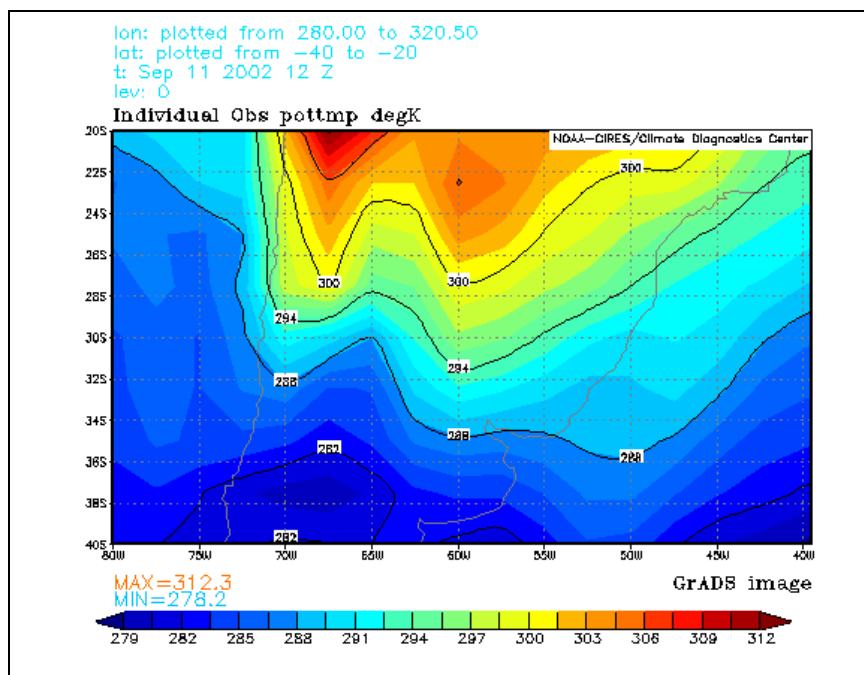


Figura 64 – Temperatura potencial.

Uma variação nas isotermas pode ser constatada no período em que ocorreu a tempestade. Como a tempestade ocorreu por volta das 09h00min da manhã de 11 de Setembro a Figura 65 se torna interessante por mostrar as características da Atmosfera no momento da ocorrência do fenômeno.

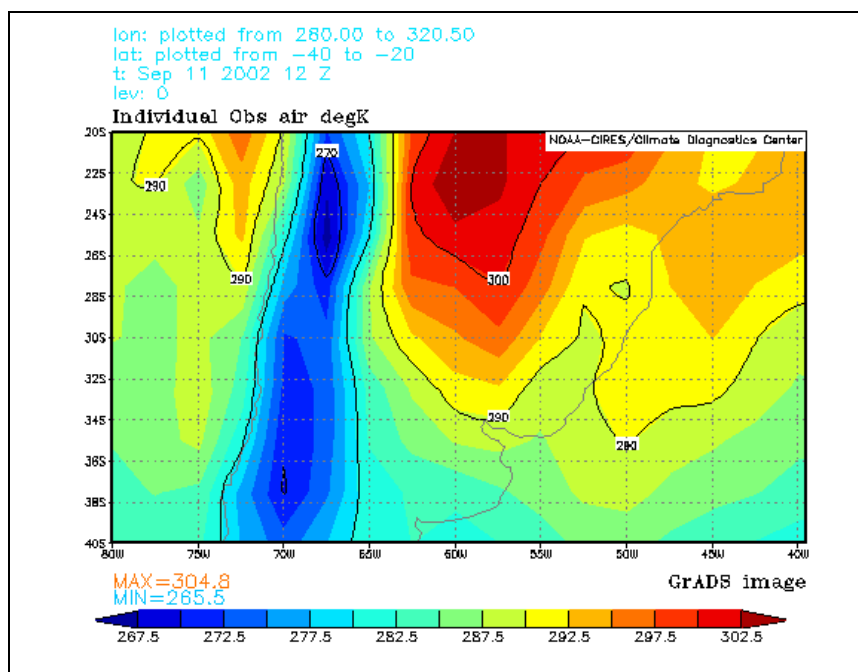


Figura 65 – Isotermas as 12h00min UT do dia 11 de setembro de 2002.

Informações sobre a pressão as 12h00minh UT são apresentadas na Figura 66 A. Os valores em pascal nos mostram que a pressão estava bastante baixa, cerca de 97500 pascal, porem um núcleo com valores inferiores estava sobre o Norte do Rio Grande do Sul e sobre

Santa Catarina. Este fato é típico de zonas de convergência de massas de ar, frentes, núcleos convectivos, entre outros. Como sabemos, a umidade relativa, retratada na Figura 66 B, depende da temperatura do ar, assim, tendo 100% de umidade relativa, sabemos que está chovendo. Entretanto com aproximadamente 90% de umidade relativa, o vapor condensa e provoca chuva. As 12h00minh UT do dia 11 de Setembro de 2002 a região de Santa Maria, estava com 100% de umidade relativa, ou seja, estava chovendo. Fato comprovado se nos basearmos nos dados da estação meteorológica instalada no campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, que faz parte da rede do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e com base na Figura 66 C, que se refere à precipitação neste horário. Os valores de precipitação para as 12h00minh UT formam estimados em cerca de  $40 \text{ kg/m}^2$ , A cobertura de nuvens no mesmo horário da tempestade foi de 100%, conforme pode ser visto na Figura 66 D.

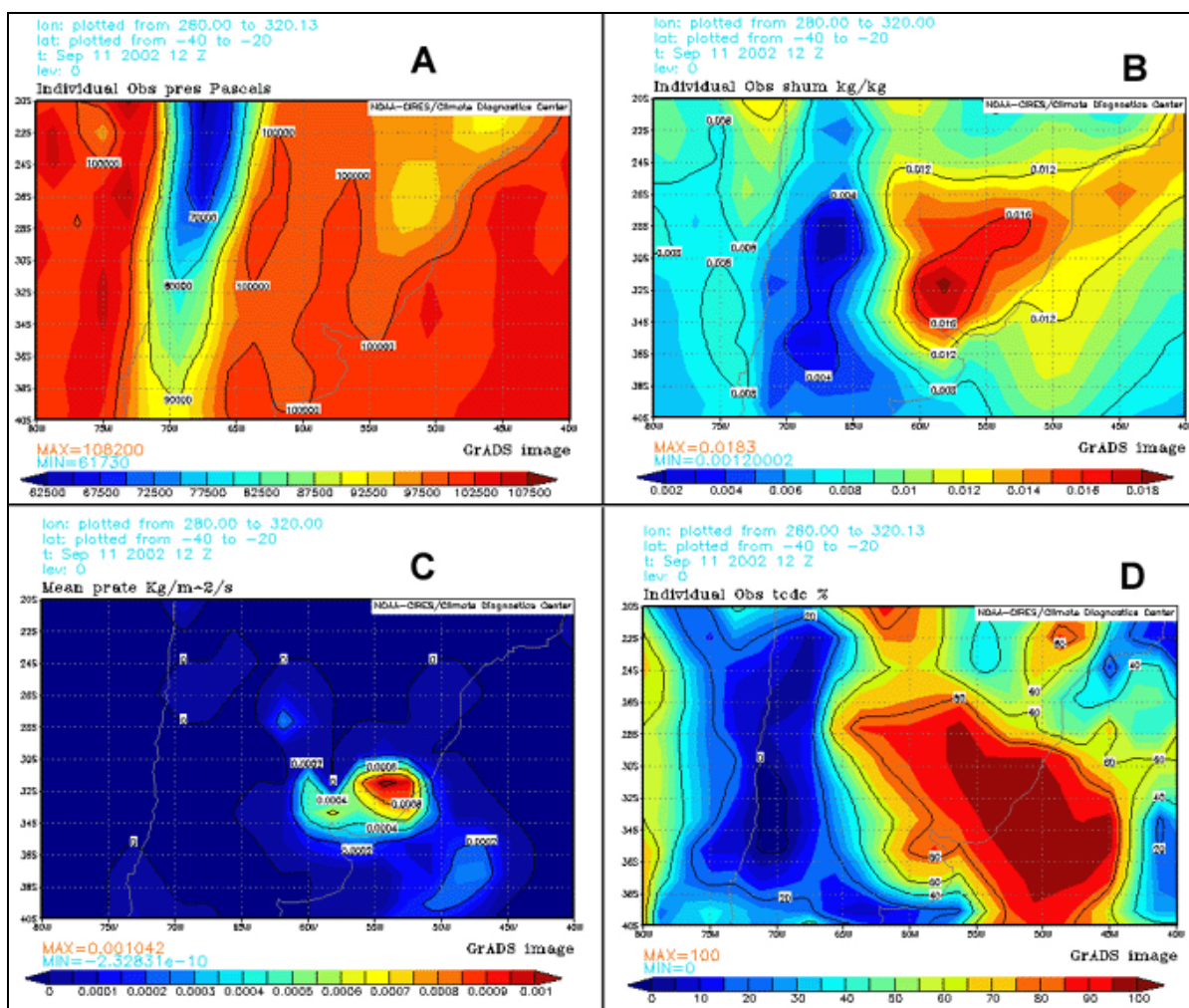


Figura 66 – A) Pressão. B) Umidade relativa. C) Precipitações. D) Cobertura de nuvens. Dados referentes ao dia 11 de Setembro de 2002

Os campos de vento, das componentes zonal – U e meridional – V, associados à dinâmica atmosférica no momento da tempestade, são apresentados na Figura 67. Os ventos zonais – U, mostram a formação de uma célula de maior intensidade dos ventos, que não é evidenciada pelos ventos meridionais.

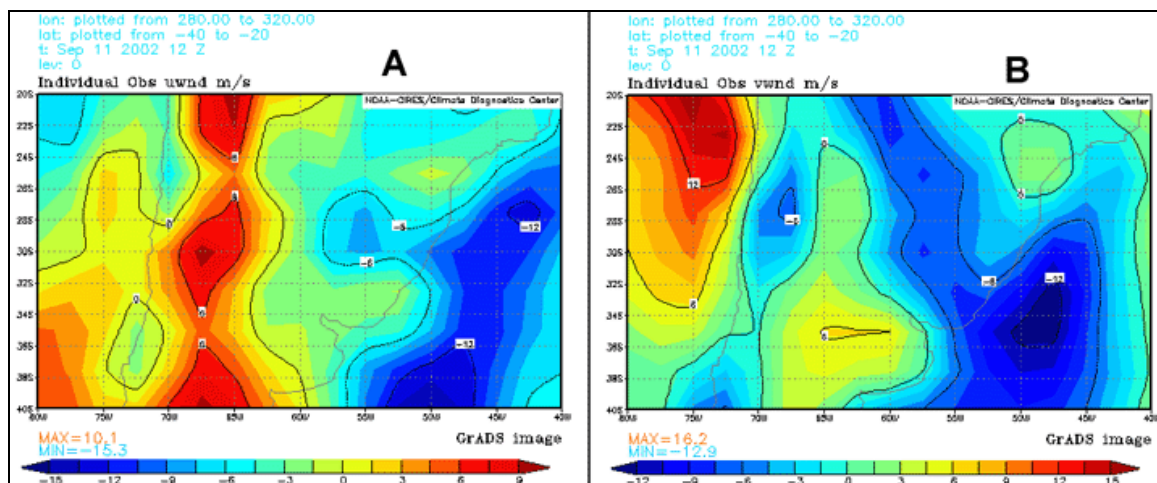


Figura 67 – A) componente U, zonal. B) Componente V, Meridional.

A imagem de satélite GOES do dia 11 de Setembro, no momento da tempestade, mostra a presença de uma alta nebulosidade, em grande escala, cobrindo praticamente todo o Estado do Rio Grande do Sul, que confere com a carta METAR da aeronáutica, conforme a Figura 68. As imagens anteriores mostram que uma frente polar estava sobre o Uruguai e se dirigindo para o Rio Grande do Sul no dia 10 de Setembro. Na hora da tempestade, a região de Santa Maria estava sob uma frente fria, que havia sido reforçada pelas Instabilidades Tropicais vindas de Noroeste e Norte. As Instabilidades Tropicais, que Nimer (1979), chama de Correntes Perturbadas de Oeste, ao se chocarem com a frente fria, possibilitaram o desenvolvimento de uma intensa nuvem cumulonimbus, que provocou os fortes ventos, que chegaram a 140 km/h. Junto aos fortes ventos, tivemos a ocorrência de granizo.

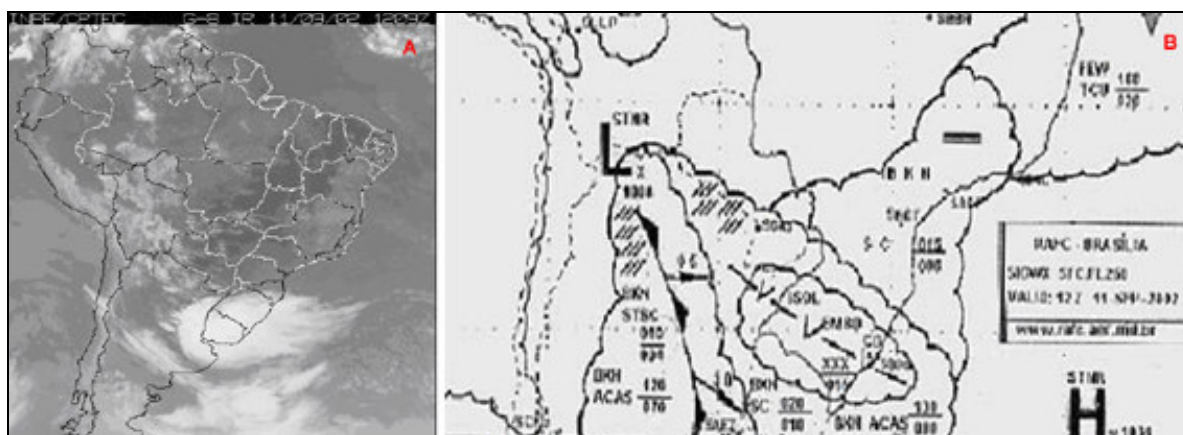


Figura 68 – A) Imagem do satélite GOES-12 do dia 11/09/2002 às 9:09 LT. B) Adaptação da Carta METAR para as 12 Z.

Fonte A: [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br). Fonte, B: [www.redemet.era.mil.br](http://www.redemet.era.mil.br).

Segundo as escalas TORRO e Fugita tivemos no dia 11 de Setembro, um evento classificado como T2 ou F1 respectivamente. Devemos mencionar o fato de que as escalas acima mencionadas normalmente são utilizadas para classificar tornados ou furacões. Assim, lembramos que a tempestade, ou como é chamado localmente, tormenta ou vendaval, não foi um tornado ou furacão, visto que suas características são bastante diferentes.



#### 4.6.10. - Implicações da geomorfologia em um sistema de detecção de relâmpagos de superfície

A geomorfologia de um ambiente influencia em uma série de fatores, entre eles destacamos o tipo e a exploração do solo, definição de áreas de risco, os ventos superficiais e a propagação da radiação eletromagnética, EM. Os estudos que abordam a relação entre relevo e o solo, áreas de risco e ventos são mais difundidos, no entanto, a influência da geomorfologia sobre as ondas ainda é pouco estudada, assim, em função da definição de Sistemas de Localização de Tempestade, SLT, e de pesquisas sobre as características e dinâmica das descargas atmosféricas baseadas em dados gerados por sensores que identificam as ondas magnéticas geradas pelos relâmpagos, o estudo da influência da geomorfologia na propagação destas ondas se faz importante.

Em um estudo realizado por Naccarato (2001), comprovou-se que a propagação da radiação EM sobre superfícies continentais gera uma atenuação desta maior do que sua propagação sobre uma superfície oceânica. Desta forma, a eficiência de um sistema de localização de tempestades pode ser consideravelmente prejudicada pela atenuação que o sinal eletromagnético que ativa o sensor ao se propagar por superfícies irregulares. Desta forma, conclui-se que a localização do conjunto de sensores deve privilegiar locais com uma altitude elevada, a fim de gerar soluções mais confiáveis, principalmente no que se refere à multiplicidade dos relâmpagos. A área a que nos propomos analisar é a Região Sul do Brasil, formada por três estados, Rio Grande do Sul – RS, Santa Catarina – SC e Paraná – PR, conforme pode ser visto na Figura 69.

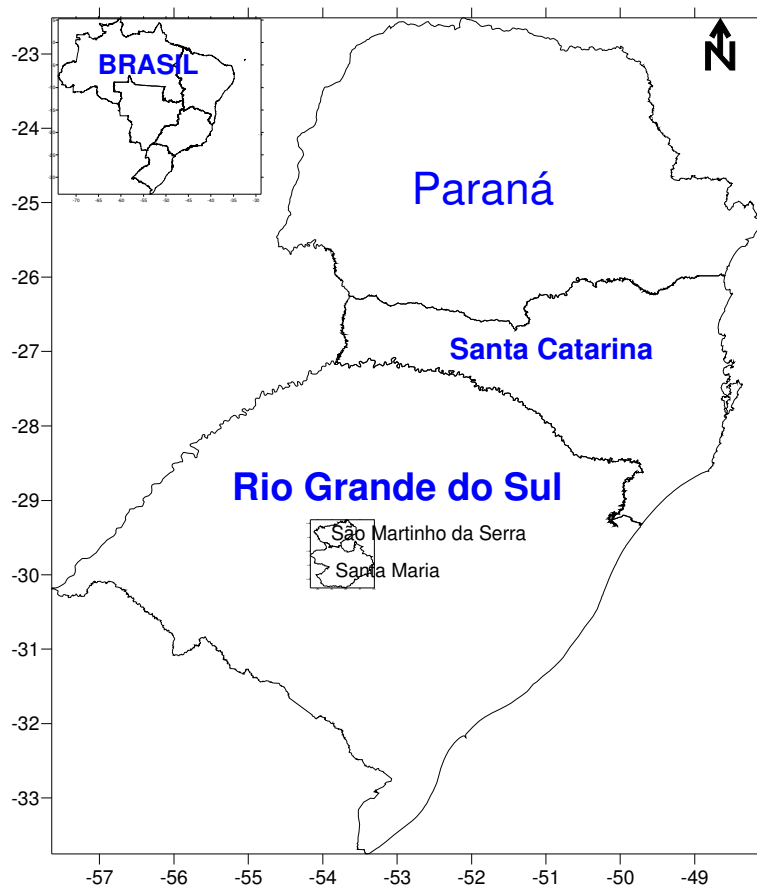


Figura 69. Localização da área de estudo.

Esta Região possui uma área total de 576.300,8 Km<sup>2</sup>, sendo que sua geomorfologia é bastante variada, desde áreas poucos metros acima do nível do mar até áreas com mais de mil metros acima do nível do mar. Assim, podemos citar como exemplo das primeiras áreas, as regiões litorâneas e centro-oeste do Rio Grande do Sul, onde a altitude não ultrapassa os 200 metros, e em relação ao segundo exemplo, podemos citar a Serra Geral, onde as altitudes podem superar os mil metros em alguns pontos. A configuração altimétrica geral da Região Sul pode ser vista na Figura 70.

Quando tratamos da dinâmica dos relâmpagos nesta região, são poucos os trabalhos já publicados, destacando-se algumas pesquisas feitas pela SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná – e por algumas universidades de instituições gaúchas. A Rede de Detecção de Descargas Atmosféricas do Sul do Brasil, consiste em 15 sensores IMPACT. A localização destes sensores se dá em altitudes variadas, o que será avaliado neste estudo.

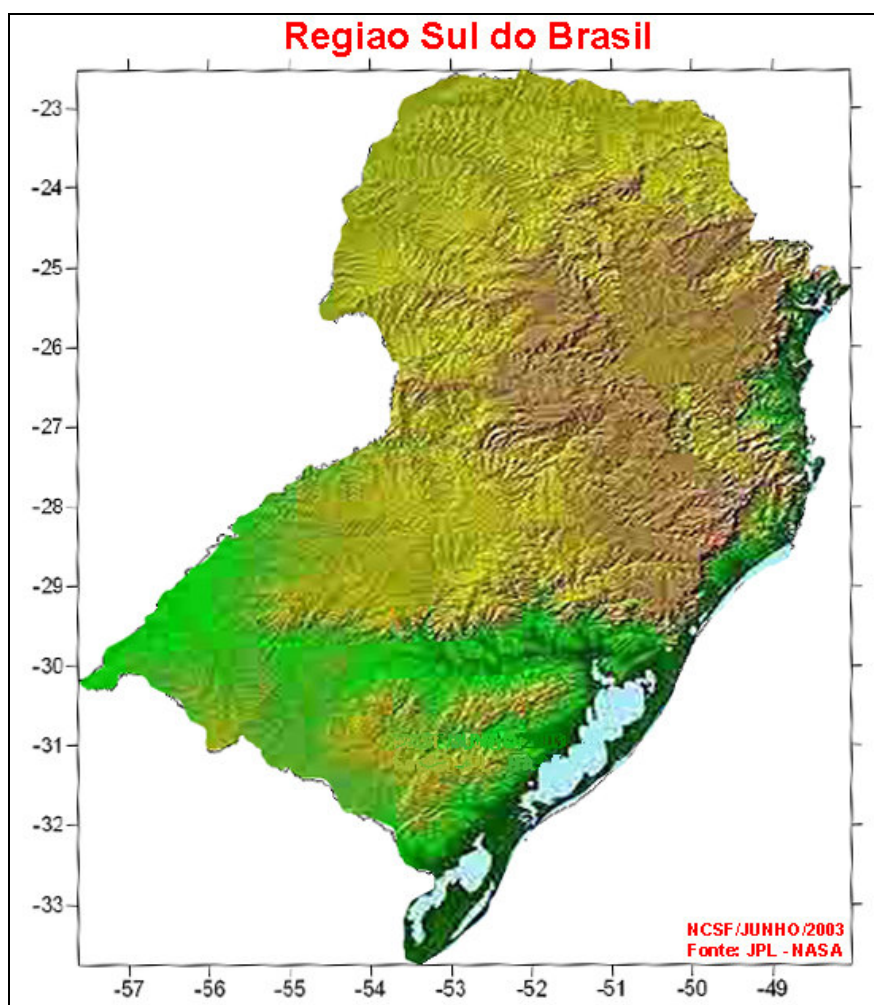


Figura 70. Relevo da Região Sul do Brasil

Fonte: Adaptado de: [http://www.formosaonline.com.br/geonline/images/brasil\\_fisico.jpg](http://www.formosaonline.com.br/geonline/images/brasil_fisico.jpg)

Em relação às altitudes dos 10 sensores da Região Sul, temos: Santa Rosa – 277, Santa Maria – 151, Uruguaiana – 66, Osório – 16, Jaguarão – 26, Lagoa Vermelha – 801, São José – 8, Foz do Iguaçu – 164, Paranaguá – 3, Paranavaí – 470 e Foz do Jordão – 820. A disposição destes sensores pode ser vista na figura 71.

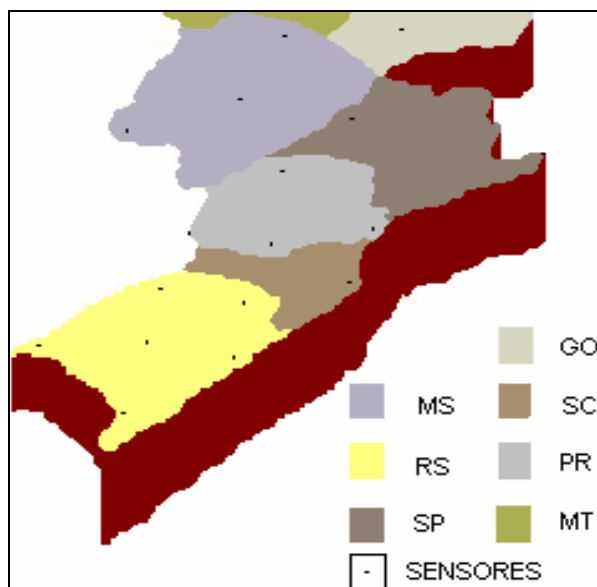


Figura 71. Rede de Detecção de Descargas Atmosféricas no Sul do Brasil.  
Fonte: Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas do Sul do Brasil.

Como forma de resultados deste trabalho, percebe-se que a localização de alguns sensores da Rede de Detecção de Descargas Atmosféricas do Sul do Brasil terão suas soluções prejudicadas, visto que em função da altitude em que se localizam podem não receber um sinal forte o suficiente para ser detectado e/ou validado, já que em muitos estudos se elimina os sinais detectados com menos de 10 Ka, sendo que muitos autores sugerem que se adote o limiar de 20 Ka ou até 30 Ka, para evitar contaminação da solução por relâmpagos IN.

Como exemplo podemos citar o sensor de Santa Maria, a 151<sup>17</sup> metros de altitude, localizado na Depressão Periférica da Serra Geral, que está muito abaixo da altitude da Serra Geral do Escudo Sul-rio-grandense. Deste modo os relâmpagos que ocorrerem nestas regiões podem não ser detectados por este sensor ou então não ser detectado o fenômeno completo, principalmente as descargas subsequentes, que geralmente são menos intensas que a primeira descarga de retorno. Outro exemplo é o sensor localizado no município de São José, Santa Catarina, que está numa altitude de apenas 8<sup>18</sup> metros e o sensor localizado na cidade de Paranaguá, a apenas 3 metros acima do nível do mar.

A capacidade de detecção dos sensores supera os 1000 Km (Vaisala, 2003), mas que, no entanto dependem de outros condicionantes, como a geomorfologia do terreno sobre a qual as ondas EM se propagam, o tipo de solo e inclusive a cobertura vegetal. Uma descarga atmosférica que ocorrer em Foz do Iguaçu poderá ser detectada pelo sensor localizado em Uruguaiana-RS, Passo Fundo-RS e Santa Rosa-RS, mas poderá não ser detectado ou apenas ser detectado as descargas mais intensas, pelo sensor de Santa Maria-RS, Osório-RS e São José-SC.

Da mesma forma os relâmpagos que ocorrerem no litoral, próximo deste e no oceano serão detectados com maior precisão pelos sensores do litoral, mas a onda Eletromagnética sofrerá uma grande atenuação até chegar aos sensores localizados em áreas mais continentais, visto que a onda se propagara por sobre a Serra Geral e assim será atenuada.

<sup>17</sup> Altitude média do município, segundo < [www.citybrasil.com.br](http://www.citybrasil.com.br) >.

<sup>18</sup> Altitude média do município, segundo < [www.citybrasil.com.br](http://www.citybrasil.com.br) >.

A implantação de uma rede ser detecção de relâmpagos envolve altos custos econômicos e para a obtenção de soluções com a maior confiabilidade possível deve-se sempre buscar otimizar os resultados do projeto com estudos prévios, que podem fornecer parâmetros novos para auxiliar no planejamento e execução da instalação.

A presente abordagem permite-nos dizer que algumas soluções podem ser prejudicadas, especialmente com relação aos sensores instalados em áreas litorâneas, mas esta localização pode ser importante para se estudar os relâmpagos sobre o oceano. Como sugestão colocamos a necessidade de equacionar esta atenuação da onda EM em função do relevo e das características de solo e vegetação, para depois aplicar no re-processamento dos dados coletados pelos sensores desta região.

#### **4.6.11. Aplicação de recursos do software Surfer® na análise de dados de descargas atmosféricas**

Durante a familiarização com o software Surfer, alguns trabalhos foram produzidos, sendo que neste analisamos banco de dados de um mês (Junho de 2004) para verificar as potencialidades do aplicativo. Usamos dados fornecidos pelo sensor LIS<sup>19</sup>. Com relação ao software Surfer, destacamos a aplicação deste na análise dos dados nos diferentes âmbitos (variação temporal, espacial, densidade, etc.), com possibilidades de análise para todos os tipos de dados oferecidos pelo LIS, tais como a radiância, tempo, total de eventos e grupos de descargas. Os dados referem-se a localização do Rio Grande do Sul, (-49.706W a -57.642W; -27.080S a -33.750S).

Quanto aos resultados buscamos demonstrar as possibilidades do software Surfer, bem como demonstrar a aplicação deste para as condições do Rio Grande do Sul e na Região Sul, dadas as suas coordenadas e máscara de limites políticos e corpos hídricos. Os resultados podem ser vistos de diferentes formas em função dos objetivos, como é visto na Figura 72, mostrando as descargas associadas aos dias em que elas ocorreram (para o mês de junho de 2004), possibilitando um acompanhamento temporal e espacial. A Figura 73 traz uma plotagem em três dimensões para a radiância e a localização dos focos de maior e menor intensidade. A Figura 74 nos mostra o uso de isolinhas para quantificar o número de eventos de relâmpagos registrados pelo LIS durante o ano de 1999. Este tipo de plotagem permite-nos sobrepor diferentes mapas e interpretar estas informações de maneira combinada, otimizando os resultados. Um fato importante a ser destacado se refere aos dados de relâmpagos utilizados, onde não consideramos a qualidade destes dados, visto que isto foge dos objetivos propostos, que se baseiam na verificação dos potenciais de aplicação do Surfer a análise de descargas atmosféricas.

---

<sup>19</sup> Com os direitos reservados ao Grupo de Eletricidade Atmosférica e Relâmpagos (Lightning & Atmospheric Electricity Research) do Global Hydrology and Climate Center (GHCC)-NASA.

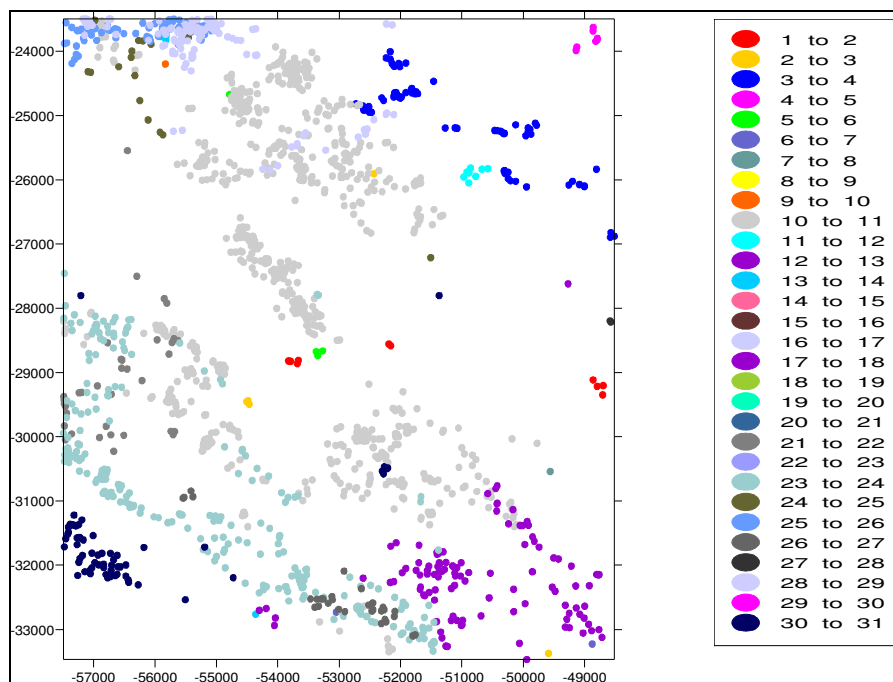


Figura 72 – Localização das descargas para cada dia (Junho de 2004).

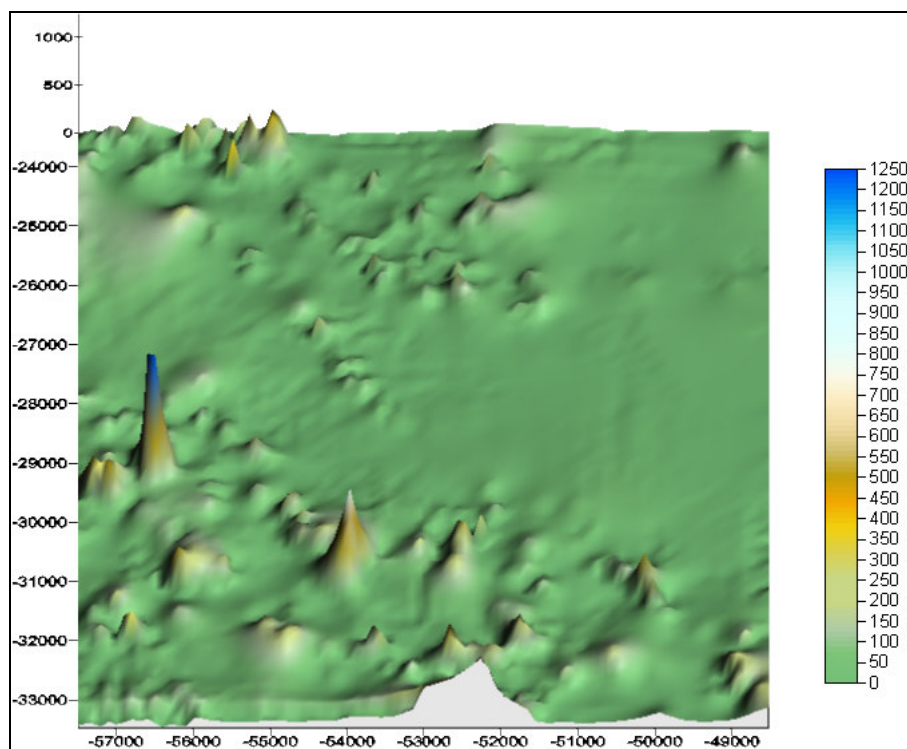


Figura 73 – Distribuição de Relâmpagos no mês de Junho 2004 (Eventos).

Um aspecto muito importante é a possibilidade de se usar diferentes camadas. O software Surfer permite plotar uma base georeferenciada, permitindo uma localização exata do local de ocorrência dos relâmpagos. Assim, podem se analisados pontos e áreas determinadas, possibilitando análises locais detalhadas. Na Figura 74 o total de relâmpagos foi sobreposto a uma imagem de relevo da Região Sul do Brasil.

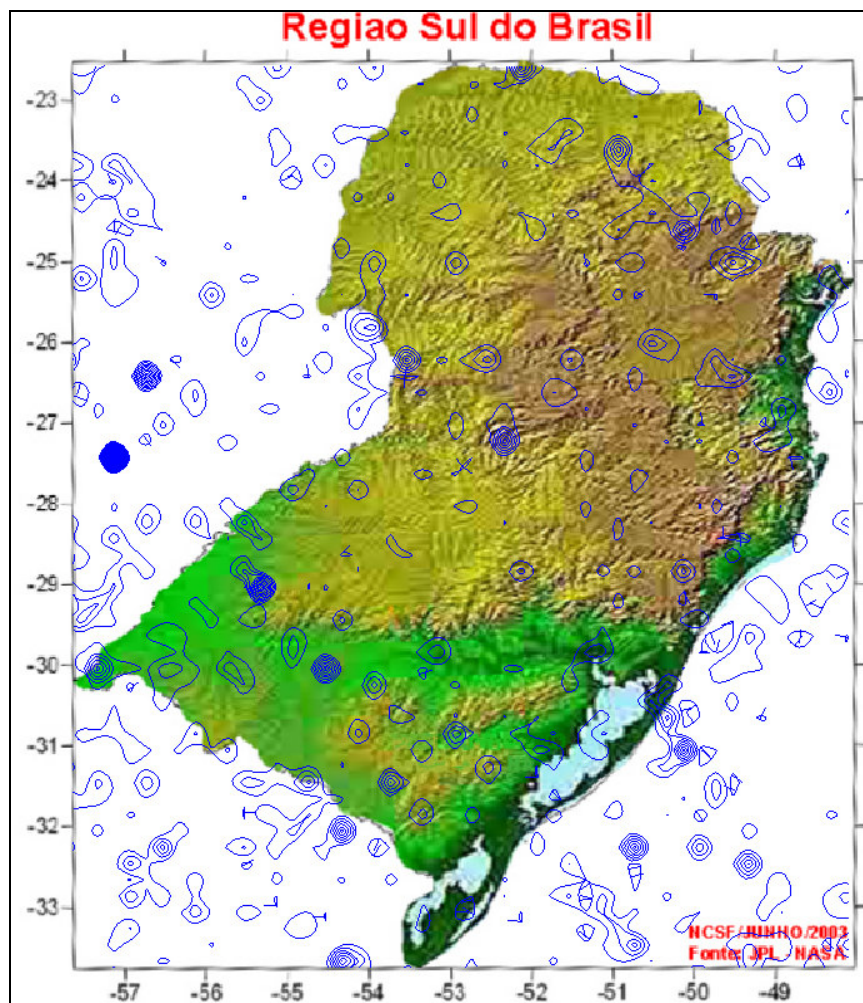


Figura 74 – Distribuição dos relâmpagos na Região Sul e as características geomorfológicas associadas.

Fonte: Dados de relâmpagos de 1999 - LIS e Imagem de fundo NASA.

#### 4.7. SOBRE O PROJETO SIDDEM

O Projeto SIDDEM – Sistema de Informações Integradas Baseado no Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas visa suprir a demanda de informações sobre descargas atmosféricas e o melhoramento de métodos de previsão de tempo e monitoramento de eventos críticos. Assim, pretende-se desenvolver um sistema de informações via WEB e outros meios de comunicação para sistematicamente atender diferentes clientes, com diferentes soluções.

Como um todo o Projeto contempla a instalações de duas redes. Uma formada por sensores SAFIR, a ser instalada no Estado de Santa Catarina, num total de 5 sensores, com o objetivo de detectar as descargas IN e gerar soluções de curtíssimo prazo. Um segunda rede, formada por 5 sensores IMPAC e a integração de sensores do INPE, cobrirá toda Região Centro-Sul do Brasil. Esta segunda rede visa a detecção de descargas atmosféricas que atingem o solo e a melhoria da previsão de eventos atmosféricos críticos.

O Projeto é formado por Instituições Públicas e Privadas. A concedente do Projeto é a FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia. A gestão financeira e administrativa esta sob a responsabilidade da FEESC - Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina. Os órgãos executores do Projeto são a

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, e os órgãos da UFSC, EPS - Engenharia de Produção e Sistemas e o IGTI - Núcleo de Estudos em Inovação, Gestão e Tecnologia da Informação. Como co-executores participam o LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, a FUNDAGRO - Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Rural Sustentável do Estado de Santa Catarina e a EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Entre as empresas patrocinadoras temos a AES-SUL - Distribuidora Gaúcha de Energia S.A., a CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica – RS, a CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A., a ELETROSUL - Empresa Transmissora de Energia Elétrica do Sul do Brasil S.A., a ENERSUL - Empresa Energética de Mato Grosso do Sul., EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, a RGE - Rio Grande Energia S.A. e a TRACTBEL - Energia S.A.. O INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, através do Grupo de Eletricidade Atmosférica constitui uma instituição parceira ao Projeto SIDDEM. As empresas Vaisala e Hobeco são as fornecedoras dos equipamentos.

Assim, o Projeto SIDDEM permitirá grandes avanços no que se refere às pesquisas de Eletricidade Atmosférica no Brasil, visto a qualidade de dados que irá produzir. Destacam-se os benefícios para as empresas de transmissão, distribuição e geração de energia, que poderão contar com melhores previsões de eventos que poderão atingir suas redes. A agricultura será beneficiada pela melhoria das previsões meteorológicas, bem como a Defesa Civil, aeroportos, portos, empresas de telecomunicação, aviação, seguradoras, órgão de previsão de tempo, órgãos vinculados ao controle de queimadas, entre outros.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSÕES

#### 5.1. CONCLUSÕES

De forma análoga a outras áreas científicas, os estudos de Eletricidade Atmosférica avançaram muito nas últimas décadas, tanto pelos novos métodos de detecção quanto pela descoberta de novos fenômenos. Em função do melhor entendimento dos fenômenos elétricos da Atmosfera, foi possível projetar novos equipamentos e métodos de proteção, isto sem mencionar o entendimento da dinâmica atmosférica, que conserva lacunas no que tange a explicação científica de determinados fenômenos e processos.

Considerando o trabalho desenvolvido durante o período da bolsa de Iniciação Científica, percebemos que muitas atividades realizadas contribuíram de forma expressiva para iniciar os estudos de Eletricidade Atmosférica no Estado do Rio Grande do Sul. A implementação da Rede de Detecção de Raios do Sul do Brasil irá possibilitar novas investigações científicas, que baseadas em dados de grande precisão, poderão conformar ou discordar dos resultados que obtivemos em nossos trabalhos, que em geral foram baseados em dados oriundos de sensores orbitais, com soluções prejudicadas.

No trabalho referente à atividade de relâmpagos e as características geográficas do Rio Grande do Sul, não encontramos uma relação entre o aumento da altitude e o aumento do número de relâmpagos. Tudo indica que as condições sinóticas controlam a atividade elétrica da Atmosfera nesta região.

Verificamos que nas áreas continentais a densidade de relâmpagos é maior do que nas áreas oceânicas ou áreas de transição. Esta relação pode ser motivada pela diferença de temperatura das superfícies, a quantidade de material particulado ou mesmo pela altura em que ocorre a condensação e conseqüente formação das nuvens.

Considerando o uso de dados de relâmpagos para prever e monitorar eventos atmosféricos, concluímos que estes dados podem auxiliar muito na previsão de eventos críticos de curtíssimo prazo, bem como para acompanhar a evolução de fenômenos em escala Global, usando dados de relâmpagos de sensores como o LIS e o OTD, ou mesmo pela integração de todas as redes de superfície implantadas atualmente nos 5 continentes.

A partir do estudo e interpretação de diferentes bancos de dados, como CDC-GrADS, imagens GOES, dados da estação meteorológica do 8º Distrito do INMET em Santa Maria, entre outros, podemos inferir uma série de informações a respeito deste fenômeno atmosférico, tais como o fato de ter apresentado ventos com velocidades de 140 km/h, os classificando como um F1 ou T2, no entanto não foi um tornado ou ciclone. Este evento que assolou Santa Maria no dia 11 de Setembro de 2002 resultou da combinação das correntes perturbadas de Oeste com a chegada de uma frente fria, que juntas provocaram o



desenvolvimento de uma nuvem cumulunimbus. Ressaltamos ainda que os prejuízos causados pela tempestade foram significativos, levando a cidade a decretar estado de emergência. Desta forma esperamos ter contribuído de forma significativa, através deste estudo de caso, para a Ciência Pura e Aplicada.

Dentre as diversas ferramentas para a análise e representação de dados georeferenciados disponíveis atualmente, o software Surfer oferece múltiplas possibilidades para a integração de diferentes variáveis. A representação espacial e da evolução temporal dos relâmpagos ficam bastante claras com o uso desta ferramenta, conforme é mostrado no trabalho. As soluções geradas pelo aplicativo possibilitam uma melhor interpretação dos relâmpagos e suas características, como a radiância, o tempo e o total de eventos.

Os diversos trabalhos realizados sobre os meios de detecção de relâmpagos e fenômenos elétricos da Atmosfera, concluímos que os métodos IMPACT e SAFIR apresentam as melhores soluções, tanto em termos da eficiência de detecção como na precisão na localização da descarga atmosférica e na discriminação de seus parâmetros.

Sobre o Projeto SIDDEM, a implantação de uma rede de sensores IMPACT e sua integração a rede do INPE, ira abranger todo o Centro-Sul do Brasil, gerando soluções de alta qualidade no que se refere a detecção de relâmpagos que envolvem o solo. Uma segunda rede de sensores SAFIR, que serão instalados no Estado de Santa Catarina, permitirá fazer previsões de eventos atmosféricos em curtíssimo prazo, isto porque os sensores SAFIR permitem discriminar os relâmpagos que ocorrem nas nuvens e não atingem o solo. Os beneficiários destas redes serão os setores elétrico, telecomunicações, meteorologia, agricultura, defesa civil, aviação, entre outros.

Por meio deste Relatório Final de Bolsa de Iniciação Científica procuramos expor as atividades realizadas e os objetivos atingidos, sem esquecer das novas oportunidades de pesquisa que estão sendo abertas com a implantação destas redes de detecção de relâmpagos no Sul do Brasil.

## 5.2. BIBLIOGRAFIA

ABDOULAEV, S. *et al.* Análise de sistemas de mesoescala utilizando dados de descargas nuvem-terra. **Brazilian Journal of Geophysics**. v. 19(1), p.75-93, 2001

ADLERMAN, E. J. & WILLIAMS, E. R. Seasonal variation of global electrical circuit. **Journal of Geophysical Research**. v. 101 n. 23 p. 29,679 – 29,688. 1996

ANDREWS, DAVID G.; HOLTON, JAMES R.; LEOVY, CONWAY B. **Middle Atmosphere Dynamics**. San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press, 1987. 489 p.

ARREITIO, J.; EZCURRA, A. & HERRERO, I. Cloud-to-ground lightning characteristics in the Apanosh Basque Country area during the period 1992-1996. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. V. 63 p. 1005 – 1015, 2001

ASSMANN, A. Der Orkan von Osterburg, Arneburg, Nauen. **Deutsches Met. Jahrbuch**. 1890. LV-LVIII p.

AVILA, E. E.; VARELA, G. G. A. & CARANTI, G. M. Charging in ice-ice collisions As a function of the ambient temperature and the larger particle average. **Journal of Geophysical Research**. v. 101 n. 23 p. 29,609 – 29, 614, 1996

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Tradução de Maria Juraqi Zani dos Santos. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 332 p. Título original: Tropical Climatology Introduction.

BAKERE, M. B. & DASH, J. G. Mechanism of charge transfer between colliding ice particles in thunderstorms. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,621 – 10,626, 1994

BLUESTEIN, HOWARD B. **Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes**. Volume I. New York, Oxford:Oxford University Press, 1992. 431 p.

BOECK, W. L. *et al.* Observations of lightning in the stratosphere. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. 1 p. 1465 – 1476, 1995

BOURSCHEIDT, VANDOIR; BREUNIG, FÁBIO MARCELO; PINTO JUNIOR, OSMAR; MINUSSI, JOÃO PAULO; SCHUCH, NELSON JORGE. Contrast in atmospheric discharges over land and ocean at Rio Grande do Sul – Brazil. **Proceedings of International Conference on Grounding and Earthing / 1st International Conference on Lightning Physics and Effects**. Belo Horizonte, 2004 – Brasil

BOURSCHEIDT, VANDOIR; BREUNIG, FÁBIO MARCELO; PINTO JUNIOR, OSMAR; MINUSSI, JOÃO PAULO; SCHUCH, NELSON JORGE. Formação de Fulguritos no Rio Grande Do Sul. **ANAIS: XIX Jornada Acadêmica Integrada da UFSM**. Santa Maria, 2004 - Brasil

BOURSCHEIDT, VANDOIR; BREUNIG, FÁBIO MARCELO; PINTO JUNIOR, OSMAR; MINUSSI, JOÃO PAULO; SCHUCH, NELSON JORGE. Descargas elétricas no sul do Brasil. **III Workshop Brasileiro de Micrometeorologia**. Santa Maria, 2003 – Brasil

BOURSCHEIDT, VANDOIR; BREUNIG, FÁBIO MARCELO; PINTO JUNIOR, OSMAR; MINUSSI, JOÃO PAULO; SCHUCH, NELSON JORGE. análise da ocorrência de descargas atmosféricas no rio grande do sul no período de janeiro de 1996 a dezembro de 1999 com base no sensor OTD. **ANAIS: VIII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão. VI Mostra de Iniciação Científica. I Mostra de Extensão**. Cruz Alta, 2003 - Brasil

BOURSCHEIDT, Vandoir & PINTO JUNIOR, Osmar. Sistema de detecção de raios do sul do Brasil. **SICINPE - 2004**. São José do Campos, 2004 - Brasil

BREUNIG, Fábio Marcelo; BOURSCHEIDT, Vandoir; PINTO JUNIOR, Osmar; MINUSSI, João Paulo; SCHUCH, Nelson Jorge. Lightning activity as a function of the geographical characteristics at Rio Grande do Sul - Brazil. **Proceedings of International Conference on Grounding and Earthing / 1st International Conference on Lightning Physics and Effects**. Belo Horizonte, 2004 - Brasil.

BREUNIG, FÁBIO MARCELO; BOURSCHEIDT, VANDOIR; PINTO JUNIOR, OSMAR; MINUSSI, JOÃO PAULO; SCHUCH, NELSON JORGE. Sistema de detecção de descargas atmosféricas do Sul do Brasil. **III Workshop Brasileiro de Micrometeorologia**. Santa Maria, 2003 – Brasil

BREUNIG, FÁBIO MARCELO; BOURSCHEIDT, VANDOIR; SIGNIORI, MARCOS; PINTO JUNIOR, OSMAR; MINUSSI, JOÃO PAULO; SCHUCH, NELSON JORGE. Eletricidade atmosférica – Sistemas de detecção na região central do estado do Rio Grande do Sul. **ANAIS: XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE2004**. Curitiba, 2004 - Brasil

BREUNIG, FÁBIO MARCELO; BOURSCHEIDT, VANDOIR; PINTO JUNIOR, OSMAR; MINUSSI, JOÃO PAULO; SCHUCH, NELSON JORGE. Análise da ocorrência de descargas atmosféricas no Rio Grande do Sul no período de janeiro de 1996 a dezembro de 1999 com base no sensor otd. **ANAIS: VIII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão. VI Mostra de Iniciação Científica. I Mostra de Extensão**. Cruz Alta, 2003 - Brasil

BREUNIG, FÁBIO MARCELO & PINTO JUNIOR, OSMAR. SISTEMA DE detecção de raios do sul do Brasil. **SICINPE** - 2004. São José do Campos, 2004 – Brasil

BREUNIG, FÁBIO MARCELO; BOURSCHEIDT, VANDOIR; PINTO JUNIOR, OSMAR; MINUSSI, JOÃO PAULO; SCHUCH, NELSON JORGE. Diferentes tipos de sensores de superfície usados na detecção de relâmpagos. **ANAIS: XIX Jornada Acadêmica Integrada da UFSM**. Santa Maria, 2004 – Brasil

BREUNIG, FÁBIO MARCELO; PINTO JUNIOR, OSMAR; MINUSSI, JOÃO PAULO; SCHUCH, NELSON JORGE. Uso de informações sobre relâmpagos para o monitoramento e previsão de eventos atmosféricos. **ANAIS: VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. Aracaju, 2004 - Brasil.

BROOKS, I. M. & SAUNDERS, C. P. R. An experimental investigation of the inductive mechanism of thunderstorm electrification. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,627 – 10, 632, 1994

CACENOT, S. R. **Estudo da instalação do sistema de pára-raios para melhorar a performance das edificações bem como a segurança na sua instalação e manutenção**. 2002. 58 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança no Trabalho). Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

CHRISTIAN, H. J. *et al.* **The Lightning Imaging Sensor**. Proceedings of the 11th International Conference on Atmospheric Electricity, Guntersville, Alabama, June 7-11, 1999, pp. 746-749.

COQUILLATS, S.; CHAUZY, S. & MÉDALE, J.-C. Microdischarges between ice particles. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. 7 p. 14,327 – 14,334, 1995

CPTEC/INPE. Satélites. Disponível em: < <http://satelites.cptec.inpe.br> >. Acesso em 27 fev. 2004

CUMMINS, K. L. & MURPHY, M. J. Overview of lightning detection in the VLF, VF, and VHF frequency ranges. **Global atmospherics, Inc**. v. (s.v.), (s.n.), 2000

DEPASSE, P. Statistics on artificially triggered lightning. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 9 p. 18,515 – 18,522, 1994

DEPASSE, P. Lightning acoustic signature. **Journal of Geophysical Research**., v. 99, n. D12, p. 25,933-25,940, 1994.

DIENDORFER, G. **Amplitude site error of magnetic direction finder**. Disponível em: < <http://www.aldis.at/research/publications.html> >. Acesso em: 25 jan. 2004

DIENDORFER, G. & SCHULZ, W **Correlation of Power line failures and lightning location data**. Disponível em: < <http://www.aldis.at/research/publications.html> >. Acesso em: 25 jan. 2004

DIENDORFER, G. & SCHULZ, W **EUCLID network performance and data analysis**. Disponível em: < <http://www.aldis.at/research/publications.html> >. Acesso em: 25 jan. 2004

DOTZEK, NIKOLAI. Tornados in Deutschland. **Proc. Symposium Naturkatastrophen in mittelgebirgsregionen**. [<http://www.tordach.org>].

DOTZEK, NIKOLAI. Severe local storms and the insurance industry: (Impacts of the RPI workshop: Tornadoes and hail, Bermuda, November 2000). **Journal of Meteorology Manuscript**. Available [<http://www.tordach.org>].

DRISCOLL, K. T.; BLAKESLEE, R. J. & KOSHAK, W. J. Time-averaged current analysis of a thunderstorm using ground-based measurements. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,653 – 10, 662, 1994

EACK, K. B. *et al.* Initial results from simultaneous observations of X rays and electric fields in a thunderstorm. **Journal of Geophysical Research.** v. 101, n. 23, p. 29,637-29,640. 1996

FARIA, H. H. **Estudo das características dos relâmpagos nuvem-solo durante dias de grande atividade no estado de Minas Gerais nos anos de 1992 a 1994.** 1998. 132 Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1998.

FARIA, H. H. **Estudo comparativo da atividade e características dos relâmpagos nas regiões de Rondônia e sudeste, no período de outubro de 1999 a março de 2000.. maio 2002.** 224 p. Tese (Doutorado em Geofísica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002.

FERNSLER, R. F. & ROWLAND, H. L. Models of lightning-produced sprites and elves. **Journal of Geophysical Research.** v. 101, n. 23, p. 29,653-29,662. 1996

FINKE U. & HAUF, T. **Detect and locate Lightning events from geostationary satellite observations.** Disponível em: <  
[http://www.eumetsat.de/en/area4/pps/ExpertMeetings/Reports/Finke\\_parte2.pdf](http://www.eumetsat.de/en/area4/pps/ExpertMeetings/Reports/Finke_parte2.pdf) >. Acesso em: 25 fev. 2004.

GATZEN, CHRISTOPH. A derecho in Europe: Berlin, 10 July 2002. **Weather and Forecasting Manuscript**, 75, 2003

GOGUEL, JEAN. **La Géothermie.** Paris:Doin, éditeurs, 1975. 167 p.

GOMES, M. A. S. S. **Estudo dos relâmpagos na região sudeste do Brasil em função das características geográficas.** 2002. 149 p. Tese (Doutorado em Geofísica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002.

GONTA JUNIOR, R. K. Laboratory-produced ball lightning. **Journal of Geophysical Research.** v. 99 n. 5 p. 10,679 – 10,682, 1994

GUO, Y.; BARTHAKUR, N. N. & BHARTENOV, S. the spectral relationships between atmospheric electrical conductivity and air pollution in urban conditions. **Journal of Geophysical Research.**, v. 101, n. D3, p. 6971-6977, 1996.

HAGER, W. W. & WANG, D. An analysis of errors in the location, current, an velocity of lightning. **Journal of Geophysical Research.** v. 100, n. 12, p. 25,721-25,729. 1995

HAMER, G. L. The Met Office's Upgraded Lightning Location System. **Phys. Cem. Earth.** v. 23 n. 5-6, p. 619m – 622, 1998

HENSEN, A. & HAGE, J. C. H. van der. Parameterization of cosmic radiation at sea level. **Journal of Geophysical Research.** v. 99 n. 5 p. 10,693 – 10,696, 1994

HOBBS, PETER V. **Aerosol – Cloud – Climate Interactions.** San Diego, New York, Boston, Lodon, Sydney, Tokyo, Toronto:Academic Press, Inc., 1993. 237 p.

HOLZ, M. **Do mar ao deserto:**a evolução do Rio Grande do Sul no tempo geológico. Porto Alegre:Editora da UFRGS, 1999

ISHII, M. & FUJII, F. Evaluation of JLDN based on observation during 2000-2002. Disponível em: <  
[http://www.lightningstorm.com/html/about/events/ildc/ildc2002/papers/39\\_Ishii.pdf](http://www.lightningstorm.com/html/about/events/ildc/ildc2002/papers/39_Ishii.pdf) > Acesso em: 23 fev. 2004.

JORDAN, D. M. *Et al.* Luminosity characteristics of lightning M components. **Journal of Geophysical Research.** v. 100, n. 12, p. 25,695-25,700. 1995

JORDAN, M. D. et al. Luminosity characteristics of dart leaders and return strokes in natural lightning. **Journal of Geophysical Research.**, v. 102, n. D8, p. 22,025-22,032, 1997.

KALNAY, E. and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

KASEMIR, H. W. Current budget of the atmospheric electric global circuit. *Journal of Geophysical Research*. v. 99 n. 5 p. 10,701 – 10, 708, 1994

KEGLER, L. L. **Análise do pluviometria em Santa Maria no período de 1913 a 2000**. 2002. 45f. Trabalho de graduação (Graduação em geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002

KITAGAWA, N. & MICHIMOTO, K. Meteorological and electrical aspects of winter thunderclouds. *Journal of Geophysical Research*. v. 99 n. 5 p. 10,713 – 10,722, 1994

KONRA, A. K. & DESHPANDE, C.G. Possible secular change and land-to-ocean extension of air pollution from measurements of atmospheric electrical conductivity over the Bay of Bengal. *Journal of Geophysical Research*. v. 100 n. 4 p. 7105 – 7111, 1995

KOORAY, V. & JAYARATNE, K. P. S. C. Characteristics of lightning flashes observed in Sri Lanka in the tropics. *Journal of Geophysical Research*., v. 99, n. D10, p. 21,051-21,056, 1994.

KOTAMARTHI, V. R. et al. Effect of lightning on the concentration of odd nitrogen species in the lower stratosphere an update. *Journal of Geophysical Research*., v. 99, n. D4, p. 8167-8173, 1994.

LACERDA, M. **Análise e modelagem de curvas de corrente de relâmpagos negativos descendentes entre 1985 e 1994, na estação de pesquisa do Morro do Cachimbo - MG**. 1998. 214 p. Tese (Doutorado em Geofísica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1998.

LE VINE, D. M. & WILLET, J. C. The influence of channel geometry on the fine scale

LETZMANN, JOHANNES. **Das Bewegungsfeld im fuss einer fortschreitenden wind-oder wasserhose**. Dorpat:[s.e.], 1923. 80 p.

LEWIS, W. W. **The Protection of Transmission Systems Against Lightning**. 2 ed. New York: Dover Publications, 421 p.

LEINZ, V. & AMARAL, S. E. Do. **Geologia geral**. 6ª ed. São Paulo:Companhia Editora Nacional, 1975

LIEBMANN, BRANT, and CATHERINE A. SMITH, 1996: Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 1275-1277.

LIU, X. *et al.* Experiment of artificially triggering lightning in China. *Journal of Geophysical Research*. v. 99 n. 5 p. 10,727 – 10,732, 1994

LÖBSACK, THEO. **Der atem der Erde**. Munchen:Bierderstein Verlag, 1960. 303 p.

LÓPEZ, R. E. & AUBAGNAC, J.-P. The lightning activity of a hailstorm as a function of changes in its microphysical characteristics inferred from polarimetric radar observations. *Journal of Geophysical Research*. v. 102 n. 14 p. 16,799 – 16,814, 1997

LORENTE, J. M. **Meteorologia**. Barcelona;Madrid:Editorial Labor, S.A, 1 1966. p. 135-146

LYONS, W. A. Sprite observation above the U. S. high plains in relation to their parent thunderstorm systems. *Journal of Geophysical Research*. v. 101, n. 23, p. 29,641-29,652. 1996

MacGORMAN, D. & RUST, W. D. **The electrical nature of storms**. New York:Oxford University Press, 1998. p. 48 - 75

MACHADO, F. P. **Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro:IBGE, 1950. p. 5-10

MACKERRAS, D. & DARVENIZA, M. Latitudinal variation of lightning occurrence characteristics. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,813 – 10,822, 1994

MANOHAR, G. K.; KANDALGAONKAR, S. S. & KULKAMI, M. K. Impact of total solar eclipse on surface atmospheric electricity. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. 10 p. 20,805 – 20,814, 1995

MARSHALL, T. C. *et al.* Rocket and balloon observations of electric field in two thunderstorms. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. 10 p. 20,815 – 20,828, 1995

MARSHALL, T. C.; McCARTHY, M. P. & RUST, W. D. Electric field magnitudes and lightning initiation in thunderstorms. **Journal of Geophysical Research**. v.100 n. 4 p. 7097 – 7104, 1995

MARSHALL, T. C. *et al.* Electric field measurements above mesoscale conductive systems. **Journal of Geophysical Research**., v. 101, n. D3, p. 6979-6996, 1996.

MASUELLI, S; SCAVUZZO, C. M. & CARANTI, G. M. Convective electrification of clouds: Anumerical study. **Journal of Geophysical Research**. v. 102 n. 10 p. 11,049 – 11,060, 1997

MAZUR, V. *et al.* Initial comparison of lightning mapping with operational time-of-arirval and interferometric systems. **Journal of Geophysical Research**. v. 102 n. 10 p. 11,071 – 11,086, 1997

MATHER, JOHN, R. **Climatology: Foundations and applications**. New York, St. Louis, San Francisco, Dusseldorf, Johannesburg, Kuala Lumpur, London, Mexico, Montreal, New Delhi, Panama, Paris, São Paulo, Singapore, Sydney, Tokyo, Toronto:McGraw-Hill Book Company, 1974. 412 p.

MENGU CHO & RYCROFT, M. J. The decomposition of CFCs in the troposphere by lightning. Ill kirch. **Journal of atmospheric and terrestrial physics**. V. 59 n. 12 p. 1373-1379, 1997

MIRANDA, F. J. **Estudo da forma de onda elétrico de relâmpagos**. 119 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.

MOLINARI, J. *et al.* Cloud-to-ground lightning in Hurricane Andrew. **Journal of Geophysical Research**., v. 99, n. D8, p. 16,665-16,676, 1994.

MSFC/NASA. **Lightning & atmospheric electricity research at the GHCC**. Disponível em: < <http://thunder.msfc.nasa.gov/> >. Acesso em: 22 nov. 2003

NACCARATO, K. P. **Estudo de relâmpagos no Brasil com base na análise de desempenho do sistema de localização de tempestades**. 2001. 165 p.Dissertação (<Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 2001.

NACCARATO, K. P.; PINTO Jr., O. & PINTO, I. R. C. A. Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil. **Geophysical Research Letters**. V. 30, n. 13, p. 7-1 a 7-4, 2003

NICOLAI, FRIEDRICH. **Beschreibung des Orcans**, (welcher den 29<sup>ten</sup> Jun. 1764. einen Strich von etlichen Meilen im Atargardischen Kreise des Herzogthums mecklenburg gewaltig verwustet hat, in einigen Briefen an des Herrn G.C.R.S. Wohlgeb. In neustrel. Entworfen von G.B. Genzmern. Prapositus und Pastorn in Altstargard im Mecklemburgischen). Berlin, Stettin: [s.e.], 1765. 48 p.

NIMER, E. Clima *In: Geografia do Brasil: Região Sul*. Rio de Janeiro: ed.IBGE, v.2,1990.p.151-187.

ORR, J. C. de. **Entre a terra e o espaço**. Rio de Janeiro:Ao livro técnico, 1966. p. 62-77. Tradutor: Antonio Lopes Pereira Titulo Original: [ ? ]

ORVELLE, R. E. Cloud-to-ground lightning flash characteristics in the contiguous United States: 1989-1991. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,833 – 10,842, 1994

PATHAK, P. P. Positive corona streamer as a source of high-frequency radiation. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,843 – 10,845, 1994

PEREIRA, ANTÔNIO R.; ARRUDA, HERMANO V. DE; ASSIS, FRANCISCO N. de. **Aplicações de estatística à climatologia: Teoria e Prática**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1966. 161 p.

PINTO JUNIOR, O. & PINTO, I. R. C. de A. **Relâmpagos**. São Paulo:Brasiliense, 1996. 108 p.

PINTO JUNIOR, O. & PINTO, I. R. C. de A. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil**. Belo Horizonte: [s.e.], 2000, 193 p.

PINTO JUNIOR, O. *et al.* Cloud-to-ground lightning flash characteristics in southeastern Brazil for the 1992-1993 summer season. **Journal of Geophysical Research**. v. 101, n. 23, p. 29,627-29,635. 1996

PINTO JUNIOR, O. *et al.* Are equatorial negative lightning flashes more intense than those at higher latitudes. São José dos Campos e Belo Horizonte. **Journal of atmospheric and terrestrial physics**. v. 59 n. 15 p. 1881-1883, 1997

PINTO JUNIOR, O. *et al.* Cloud-to-ground lightning flash characteristics in southeastern Brazil for the 1992-1993 summer season. **Journal of Geophysical Research**. v. 101 n. 23 p. 29,627 – 29,636, 1996

PRICE, C. & RIND, D. Possible implications of global climate change on global lightning distribution and frequencies. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,823 – 10,832, 1994

RAKOV, V. A. *et al.* Mechanism of the lightning M components. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. 12 p. 25,701 – 25,710, 1995

RAKOV, V. A.; UMAN, M. A. & THOTTAPPILLIL, R. Review of lightning properties from electric field and TV observations. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,745 – 10,750

RAKOV, V. A. & UMAN, M. A. Origin of lightning electric field signatures showing two return-stroke wave forms separated in time by a microsecond or less **Journal of Geophysical Research**., v. 99, n. D4, p. 8157-8165, 1994.

RHODES , C. T. *et al.* Observations of lightning phenomena using radio interferometry. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 6 p. 13,059 – 13,083, 1994

RIEHL, H. **Meteorologia tropical**. Rio de Janeiro:Ao livro técnico, 1965 Tradutor: Aurélio Augusto Rocha

RIOS, C. A. *et al.* Áreas externas, a proteção interna, equipamentos eletrônicos sensíveis, projetos, metodologia de projeto de cálculos, manutenção e corrosão. Sen local. Não paginado, digital.

RUBINSTEIN, M. *et al.* Characterization of vertical electric fields 500 m and 30 m from triggered lightning. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. 5 p. 8863 – 8872, 1995

SARTORI, M. da G. B. **Clima e percepção** v2. 2000. 332-361f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000]

SÁTORI, G. & ZIEGER, B. Spectral characteristics of Schumann resonances observed in central Europe. **Journal of Geophysical Research**. v. 101 n. 23 p. 29,6663 – 29,670, 1996

SCHIESSER, HANS-HEINRICH; SCHMID, WILLI; FURGER, MARKUS; JENNI, MARIO. The origin of severe winds in a tornadic bow-scho storm over northern Switzerland. **Monthly Weather Review**, 128, 192-207

SCHMID, WILLI; SCHIESSER, HANS-HEINRICH. The Alps – a generator of tornadoes? **Atmospheric Science**, ETH, CH-8093 Zurich

SCHMID, WILLI; SCHIESSER, HANS-HEINRICH; BAUER-MESSMER, B. Supercell storms in Switzerland: Case studies and implications for now-casting severe winds with Doppler radar. **Meteorol. Appl.** 4, 49-67, 1997

SELTY, S.; SOULA, S. & SAUVAGEOT, H. Radar observation and lightning detection in coastal thunderstorms. **Phys. Chem. Earth (B)**. v. 25, n. 10-12, p. 1107 – 1110, 2000

SHAO, X. M. et al. Radio interferometric observations of cloud-to-ground lightning phenomena in Florida. **Journal of Geophysical Research**., v. 100, n. 2, p. 2749-2783, 1995

SHEFTEL, V. M.; CHERNYSHEV, A. K. & CHERNYSHEVA, S. P. Air conductivity and atmospheric electric field as an indicator of anthropogenic atmospheric. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,793 – 10,796, 1994

SHEFTEL, V. M. *et al.* Space-time structure and reasons of global, regional and local variations of atmospheric electricity. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,797 – 10,806, 1994

SOULA, S. Transfer of electrical space charge from corona between ground and thundercloud: Measurements and modeling. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,759 – 10,766, 1994

SOULA, S. et al. Observation of thunderstorms by multilevel electric field measurement system and radar. **Journal of Geophysical Research**. v. 100, n. D3, p. 5025-5035, 1995.

SOULA, S. & CHAUZY, S. Charge transfer by precipitation between thundercloud and ground. **Journal of Geophysical Research**. v. 102 n. 10 p. 11,061 – 11,070, 1997

SOUZA, BERNARDO S. P. e. **Introdução ao estudo dos Oceanos**. Santa Maria: Ed. Universitária/UFSM, 1997. 46 p.

SPENCER, R.W., 1993: Global oceanic precipitation from the MSU during 1979-91 and comparisons to other climatologies. *J. Climate*, 6, 1301-1326.

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre:EMATER/RS;UFRGS, 2002

SUGUIO, KENITIRO. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais: Passado + Presente = Futuro**. São Paulo:Paulo's Comunicações e Artes Gráficas, 1999. 366 p.

SUKHORUKOV, A. I. Lightning transient fields in the atmosphere low ionosphere. Katlenburg-Lindau. **Journal of atmospheric and terrestrial physics**. v. 58 n. 15 p. 1711-1720, 1996

TAVARES, F. de S.S. **Estudo da relação entre sprites e os relâmpagos das tempestades associadas**. 1999. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1999



THOTTAPPILLIL, R. *et al.* Properties of M components from currents measured at triggered lightning channel base. **Journal of Geophysical Research.** v. 100, n. 12, p. 25,711-25,720. 1995

THOTTAPPILLIL, R. & UMAN, M. A. Lightning return stroke model with height-variable discharge time constant. **Journal of Geophysical Research.** v. 99 n. 11 p. 22,773 – 22,780, 1994

TINSLEY, B. A. Correlations of atmospheric dynamics with solar wind-induced changes of air-earth current density into cloud tops. **Journal of Geophysical Research.** v. 101 n. 23 p. 29,701 – 29,714, 1996

TORII, T.; TAKEISHI, M. & HOSONO, T. Observation of gamma-ray dose increase associated with winter thunderstorm and lightning activity. **Journal of Geophysical Research.** v. 107 n. D17, 2002

VAISALA Disponível em: < [www.vaisala.com](http://www.vaisala.com) >. Acesso em: 10 jan. 2004

VIDE, J. M. & CANTOS, J. O. **Tiempos y climas mundiales.** Barcelona:Oikos-tau, 1996.

VIEIRA, A. S. Tipos de nuvens. Disponível em: < <http://www.geocities.com/alexclouds2002/desc.htm> >. Acesso em 05 mar. 2004

XIE and ARKIN, 1996: Analyses of Global Monthly Precipitation Using Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Predictions. *J. Climate*, 9, 840 -858.

WANG, D. *et al.* A preliminary study on laser-triggered lightning **Journal of Geophysical Research.**, v. 99, n. D8, p. 16,907-16,912, 1994

WESSEL-BERG, T. A proposed theory of the phenomenon of ball lightning. Disponível em: < [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) >. Acesso em: 01 jan. 2004

WILLIAMS, E. & STANFILL, S. The physical origin of the land-ocean contrast in lightning activity. **C.R. Physique.** V. 3, p. 1277 – 1292, 2002

WINCKLER, J. R. *et al.* New high-resolution ground-based studies of sprites. **Journal of Geophysical Research.**, v. 101, n. D3, p. 6997-7004, 1996.

### 5.3. ANEXOS

#### 5.3.1. Trabalhos publicados e apresentados pelo bolsista

- *Lightning activity as a function of the geographical characteristics at Rio Grande do Sul – Brazil.* Apresentado no GROUND'2004 and 1º LPE. Interenational Conference on Grounding and Earthing & 1º International Conference on Lightning Physics and Effects. Belo Horizonte – Brasil.
- *Contrast in atmospheric discharges over land and ocean at Rio Grande do Sul – Brazil.* Apresentado no GROUND'2004 and 1º LPE. Interenational Conference on Grounding and Earthing & 1º International Conference on Lightning Physics and Effects. Belo Horizonte – Brasil.
- *Uso de informações sobre relâmpagos para o monitoramento e previsão de eventos atmosféricos.* Apresentado no VI – SBCG. VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Aracajú – Brasil.
- *Eletricidade Atmosférica – Sistemas de detecção na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul.* Apresentado no XIX CRICTE. XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnologia em Engenharia. Curitiba – Brasil.
- *Diferentes tipos de sensores de superfície usados na detecção de relâmpagos.* Apresentado na XX JAI. XX Jornada Acadêmica Integrada. Santa Maria – Brasil.
- *Sistema de detecção do raios do Sul do Brasil.* Publicado no anais do SICINPE-2004. São José dos Campos.
- *Formação de Fulguritos no Rio Grande do Sul.* Apresentado na XX JAI. XX Jornada Acadêmica Integrada. Santa Maria – Brasil.
- *Relâmpagos: Importância e Aplicações.* Apresentado na V SAI-CCNE. V Semana Acadêmica Integrada do Centro de Ciências Naturais e Exatas. Santa Maria – Brasil.

#### 5.3.2. Trabalhos a serem publicados e apresentados pelo bolsista

- > Um caso de tempestade em Santa Maria – RS – Brasil. Possivelmente será publicado e apresentado no IX CONGREGMET – IX Congresso Argentino de Meteorologia, em Buenos Aires.
- > Implicações da geomorfologia em um sistema de detecção de relâmpagos de superfície. Evento a ser definido
- > Aplicação de recursos do software Surfer® na análise de dados de descargas atmosféricas. Evento a ser definido.

### **5.3.3. Relatórios referentes a Campanha Sprite Brasil**

#### **5.3.3.1. Some statistics of lightning and storms in South of Brazil - Rio Grande do Sul state**

**SOME STATISTICS OF  
LIGHTNING AND STORMS IN  
SOUTH OF BRAZIL - RIO GRANDE DO SUL STATE**

**By:**

**Fábio Marcelo Breunig, Osmar Pinto Junior, Nelson Jorge Schuch**

Santa Maria, August 2004

## INDEX

INDEX.....	123
1. RIO GRANDE DO SUL .....	124
1.1. GENERAL INFORMATION ABOUT SANTA MARIA CITY AND RIO GRANDE DO SUL STATE. ....	124
MAP 1 – Location of Santa Maria e São Martinho da Serra.....	125
1.2. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE STORMS .....	125
Table 1 - Lightning data for the years from 1998 to 2003 .....	126
Table 2 – Precipitations in Rio Grande do Sul .....	127
Figure 1 - Average of lightning in the period from 1998 to 2003. Summer Source: Sensor LIS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figure 2 - Average of lightning in the period from 1998 to 2003. fall.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figure 3 - Average of lightning in the period from 1998 to 2003. Winter.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figure 4 - Average of lightning in the period from 1998 to 2003. Spring.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figure 5 - Seasonal medium Temperature of Rio Grande do Sul. ....	129
2. REFERENCES: .....	129

## 1. RIO GRANDE DO SUL

### 1.1. GENERAL INFORMATION ABOUT SANTA MARIA CITY AND RIO GRANDE DO SUL STATE.

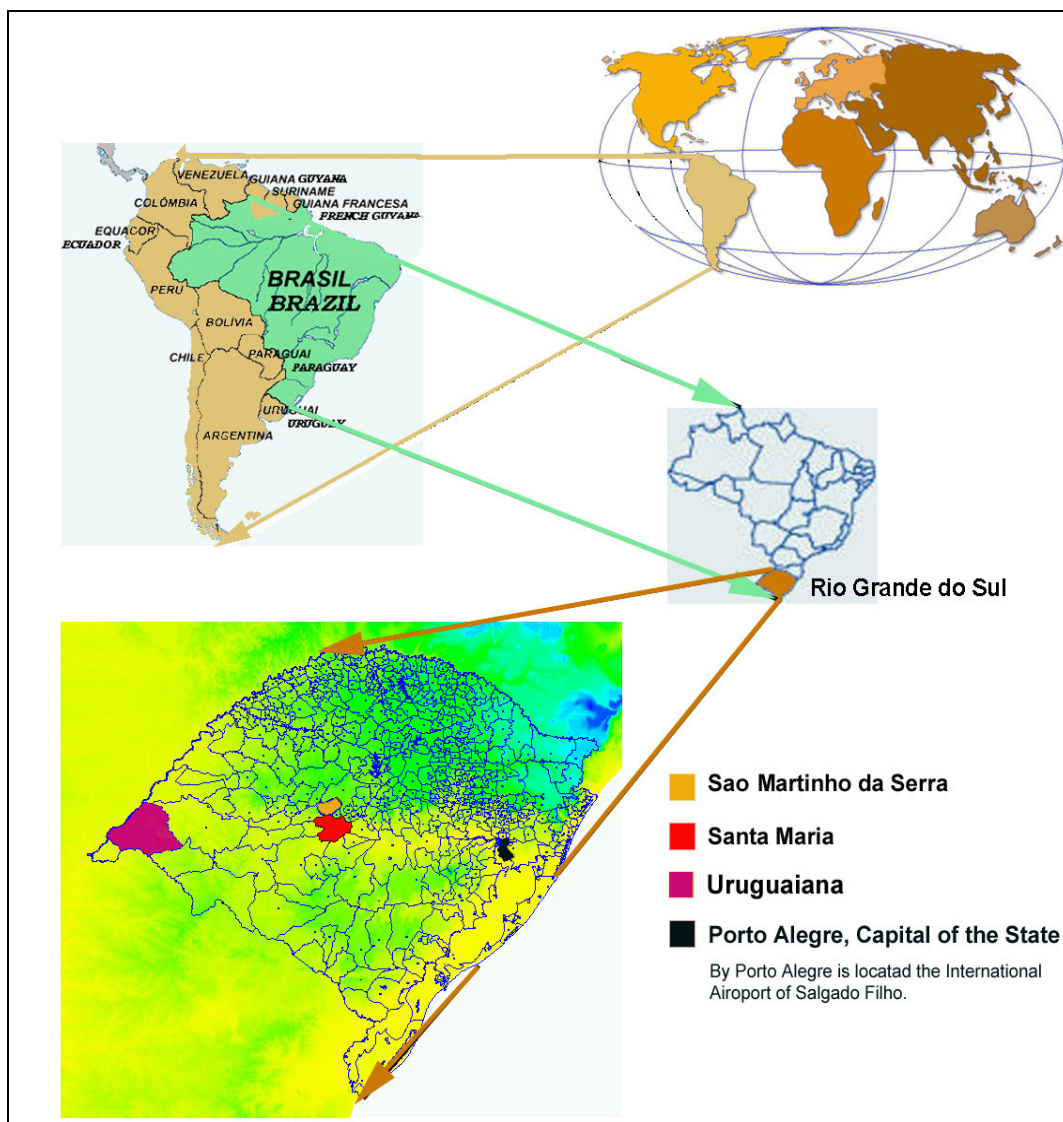
Rio Grande do Sul is the Southernst State of Brazil and Santa Maria is located in the center of this State. The Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT, in the Santa Maria city, is a regional space research center of the National Institute of Space Research. An partnership firmmed among CRSPE/INPE and the Federal University of Santa Maria – UFSM through the Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM – UFSM has permit the execution of some research on Atmosopheric Electricity. Still by CRSPE have the Southern Space Observatory – OES/CRSPE/INPE – MCT, that allocate many equipments for atmospheric measurements, which is located in the city of São Martinho da Serra, like is showed in the following maps.

By Porto Alegre, Capital of the State, are located the International Airport Salgado Filho. It is the largest city of Rio Grande do Sul, with about 1.500.000 habitants. Santa Maria is localized about 300 Km from Porto Alegre.

To see further information, please access the next links:

→ [Welcome to Federal University of Santa Maria](#). English version

→ [Santa Maria – RS](#). Portuguese version.



MAP 1 – Location of Santa Maria e São Martinho da Serra

## 1.2. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE STORMS

On the spring and summer are more common the occurrence of Tropical Instabilities – ITs, the produce large amount lightning. In general 90% of the weather type are command by cold fronts, mostly in the winter. In spring season the cold fronts still are strong. It move with high-speed and when it find the mass of hot air, they provoke the formation of storm clouds, mainly cumulonimbus.

The climatic disturbances tend intensifying in the spring, when the masses of cold air still arrive frequently in south area of Brazil, but they already find the warm air for the Sun - a mixture that is usually synonymous of storms.

Because this combination, September and October register the largest amount of lightning, with 2795 and 2816 respectively (according to data of LIS sensor, about the period from 1998 to 2003). The lightning amount can be seen in the table 1.

Over precipitation data, September and October register the larges amount, with 156 mm both. The precipitation mean distribution over the year, from data for the period from 1913 to 2000, is shows in the table 2.

<b>Lightning data for the years from 1998 to 2003</b>		
<b>In Rio Grande do Sul</b>		
<b>Month</b>	<b>Total Amount</b>	<b>Medium</b>
January	16079	2680
February	10881	1814
March	14398	2400
April	9137	1523
May	6035	1006
June	7619	1270
July	11068	1845
August	9604	1601
<b>September</b>	<b>16767</b>	<b>2795</b>
<b>October</b>	<b>16898</b>	<b>2816</b>
November	13238	2206
December	12728	2121

Table 1 - Lightning data for the years from 1998 to 2003

In Rio Grande do Sul

Source: Sensor LIS, 2004

<b>Precipitations in Rio Grande do Sul</b>	
<b>Month</b>	<b>Precipitation mean 1913 – 2000 mm</b>
January	151
February	136
March	135
April	141
May	150
June	158
July	143
August	126
<b>September</b>	<b>156</b>
<b>October</b>	<b>156</b>
November	116
December	133

Table 2 – Precipitations in Rio Grande do Sul

Source: Kegler, L. L. 2002

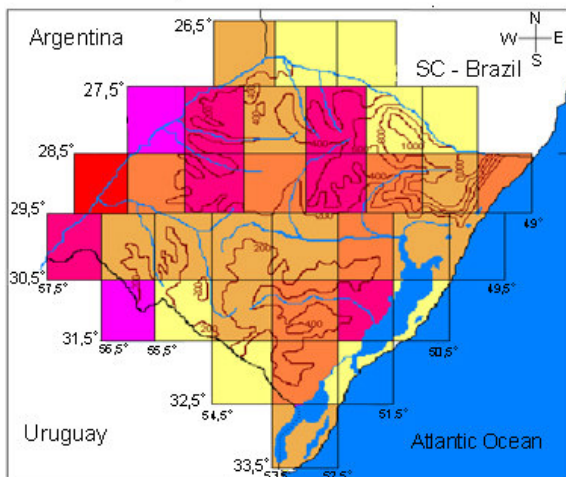


About lightning distribution over Rio Grande do Sul, we have the following characteristics second de annual average and the seasonal variations. That is shows in the following maps.

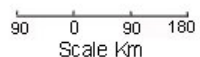
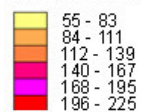
**Rio Grande do Sul - Brazil**

Datas from 1998 to 2003

**Summer (Jan. Fev. Dec.)**



**Total of flashes**

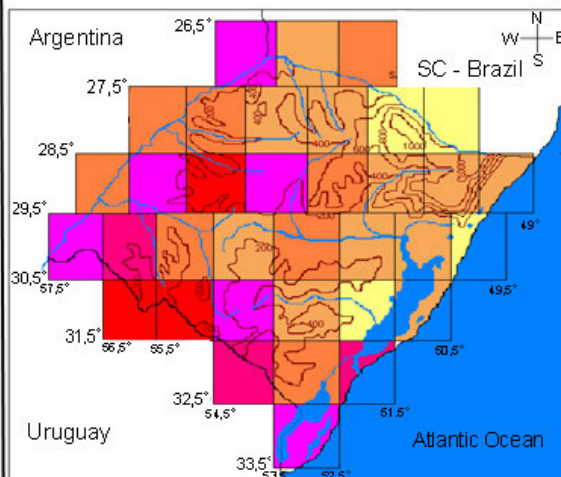


Santa Maria, 2004

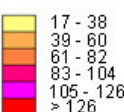
**Rio Grande do Sul - Brazil**

Datas from 1998 to 2003

**Autumn (Mar. Apr. May)**



**Total of flashes**

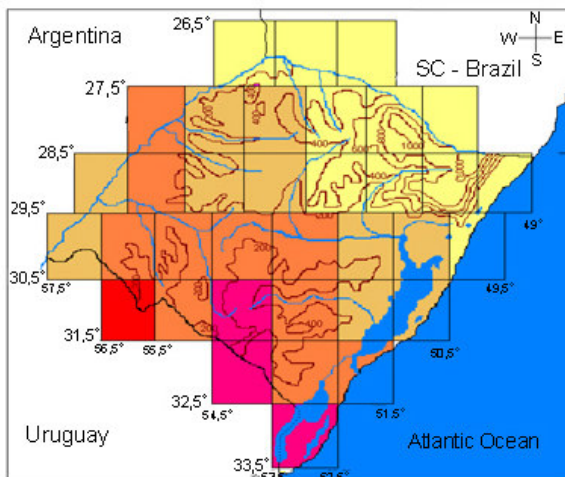


Santa Maria, 2004

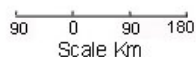
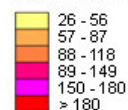
**Rio Grande do Sul - Brazil**

Datas from 1998 to 2003

**Winter (Jun. Jul. Aug.)**



**Total of flashes**

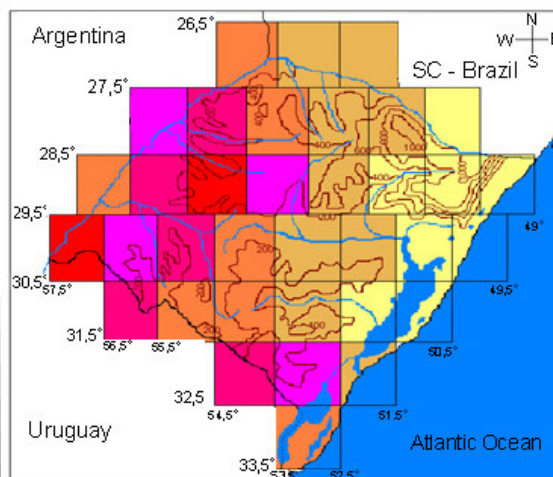


Santa Maria, 2004

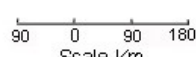
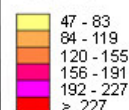
**Rio Grande do Sul - Brazil**

Datas from 1998 to 2003

**Spring (Sep. Oct. Nov.)**



**Total of flashes**



Santa Maria, 2004

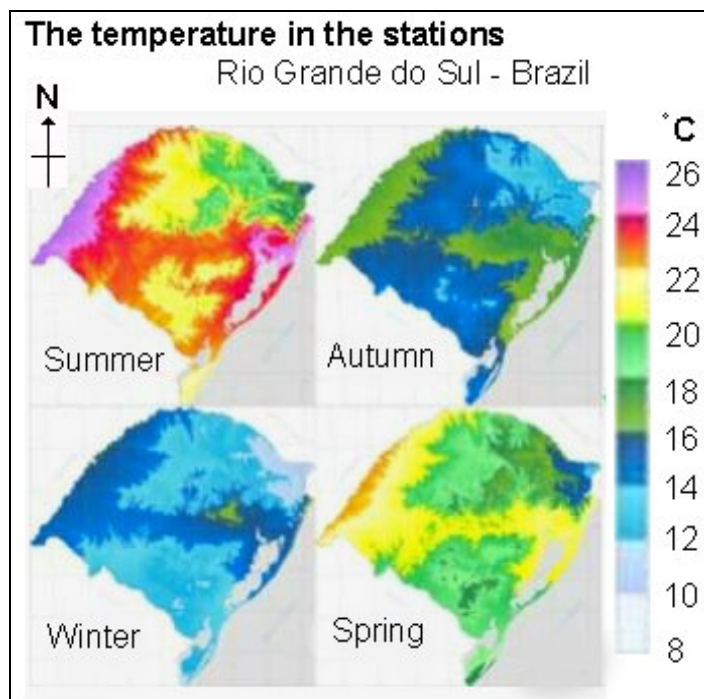


Figure 5 - Seasonal medium Temperature of Rio Grande do Sul.

Source: Available in: <<http://www.semc.rs.gov.br/atlas/climat.htm>>. Access in 26/02/2004

## 2. REFERENCES:

KEGLER, Lucas Luiz. **Análise da pluviometria em Santa Maria, no período de 1913 a 2000**. 45f. 2002. Trabalho de Graduação (Graduação no Curso de Geografia). – Universidade Federal de Santa Maria, 2002

SEMC. Available by: <<http://www.semc.rs.gov.br/atlas/climat.htm>>. Access in 26/02/2004

The v1.0 gridded satellite lightning data were produced by the NASA LIS/OTD Science Team (Principal Investigator, Dr. Hugh J. Christian, NASA / Marshall Space Flight Center) and are available from the Global Hydrology Resource Center (<http://ghrc.msfc.nasa.gov> <[http](http://)>).

### 5.3.3.2. Relatório sobre a reunião na UNIJUI no âmbito da Campanha Sprite Brasil.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



UFMS

Universidade Federal de Santa Maria

Relatório referente à reunião no Campus UNIJUI – Santa Rosa, do dia 27 de outubro de 2004, a respeito da instalação de alguns instrumentos do Projeto Sprite Brasil na Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI.

## CAMPANHA SPRITE BRAZIL

Por Fábio Marcelo Breunig

Santa Maria, aos 30 dias de outubro de 2004.

## INDICE

1. – INTRODUÇÃO (COLOCAÇÃO DO PROBLEMA).....	132
2. – DISCUSSÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....	132
2.1. – Sobre os fenômenos a serem estudados.....	137
2.1.1. – Sprites .....	139
2.1.2. - E.L.V.E.S. (Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations From Electromagnetically Pulsed Sources) .....	140
2.1.3. - Jatos Azuis ou “Blue Jats” .....	141
2.1.4. – Precursores Azuis ou Precursores.....	141
2.2. – Sobre os objetivos da reunião .....	141
2.3. – Sobre os resultados preliminares .....	142
2.4. – Sobre as possibilidades/recursos da UNIJUI.....	142
3. – CONSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DA REUNIÃO .....	143
4. – REFERENCIAS .....	143
5. – ANEXOS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## 1. – INTRODUÇÃO (COLOCAÇÃO DO PROBLEMA)

A Campanha Sprite Brazil está sendo realizado através do trabalho conjunto de instituições Brasileiras e Norte-americanas. No Brasil o projeto é liderado pelo PhD. Osmar Pinto Junior, pesquisador o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT, onde lidera o Grupo de Eletricidade Atmosférica, dentro da Divisão de Geofísica Espacial, do Centro de Ciências Atmosféricas – ELAT/DGE/CEA – INPE, com sede em São José dos Campos – São Paulo. Devido a local da realização das pesquisas, a base operacional do projeto será no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE, sob coordenação geral do PhD. Nelson Jorge Schuch, localizado no município de Santa Maria – Rio Grande do Sul e no Observatório Espacial Sul OES/CRSPE – INPE, sediado no município de São Martinho da Serra, a Noroeste de Santa Maria. Entre as instituições Norte-americanas que participam do Projeto Sprite Brazil, são: University of Washington (Seattle – US), University of Utah (Utah – US), University of Alaska (Alaska – US).

Assim, com a instalação de sensores/câmeras de alta resolução a campanha pretende registrar a ocorrência de fenômenos elétricos de alta Atmosfera, como Sprites, E.L.V.E.S. e Blue Jats. Uma breve discussão a respeito destes fenômenos será abordada em seguida. O Observatório Espacial Sul foi estrategicamente escolhido, tendo em vista a ocorrência de uma grande quantidade de tempestades a Oeste do OES (Inclusive Uruguaiana e Santa Rosa). O objetivo geral é registrar estes fenômenos que estão associados as tempestades. Como o Rio Grande do Sul, o Norte da Argentina, o Sul do Paraguai e o Uruguai apresentam uma grande quantidade de tempestades, é um local propício. A isto se soma o fato da detecção de uma Sprite na Serra Gaúcha na década de 90 pelo Ônibus Espacial da NASA (National Aeronautic Space Administration).

Tendo em vista que estes fenômenos são pouco conhecidos, principalmente no que se refere as implicações que possam ter e a sua importância para o equilíbrio elétrico da Atmosfera, este projeto coloca-se como uma oportunidade de aprofundar as bases científicas nesta área. Em termos gerais o projeto prevê a utilização de câmeras de alta resolução temporal, sensores eletromagnéticos, sondagens, entre outros.

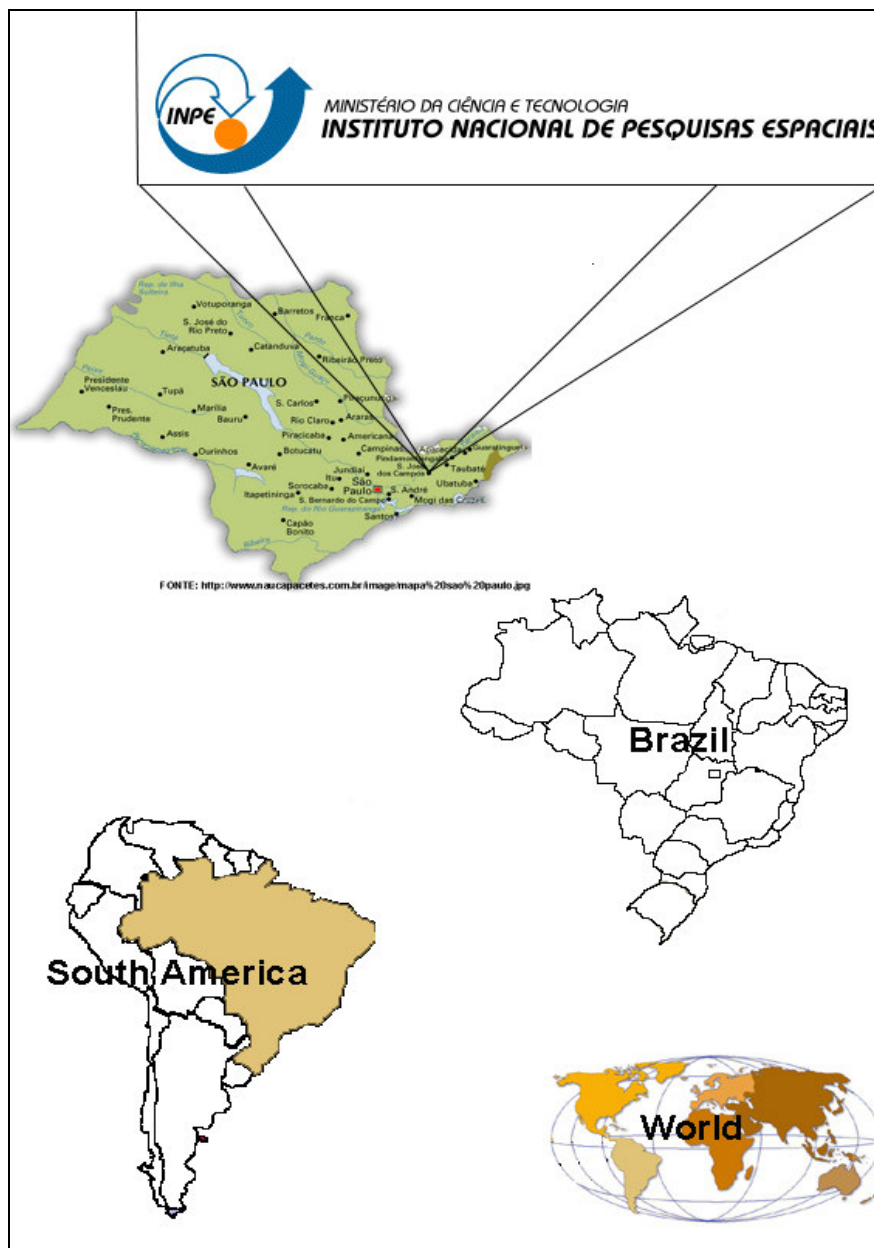
A visita a Santa Rosa, especificamente ao campus da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI fez em função da necessidade de buscar um lugar para a instalação de câmeras que serem usadas para registrar os fenômenos. Assim, estabeleceram-se os primeiros contatos entre o CRSPE e a UNIJUI.

## 2. – DISCUSSÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Apresentamos nesta seção informações referentes aos Sprites, E.L.V.E.S. e Blue Jats, através de uma breve caracterização destes. Segue-se a apresentação dos objetivos da reunião entre os representantes do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE e da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI. Os resultados preliminares desta reunião e as possibilidades são referidos na seqüência. Porém primeiramente será feita uma localização geográfica das instituições envolvidas nesta campanha, ou seja:

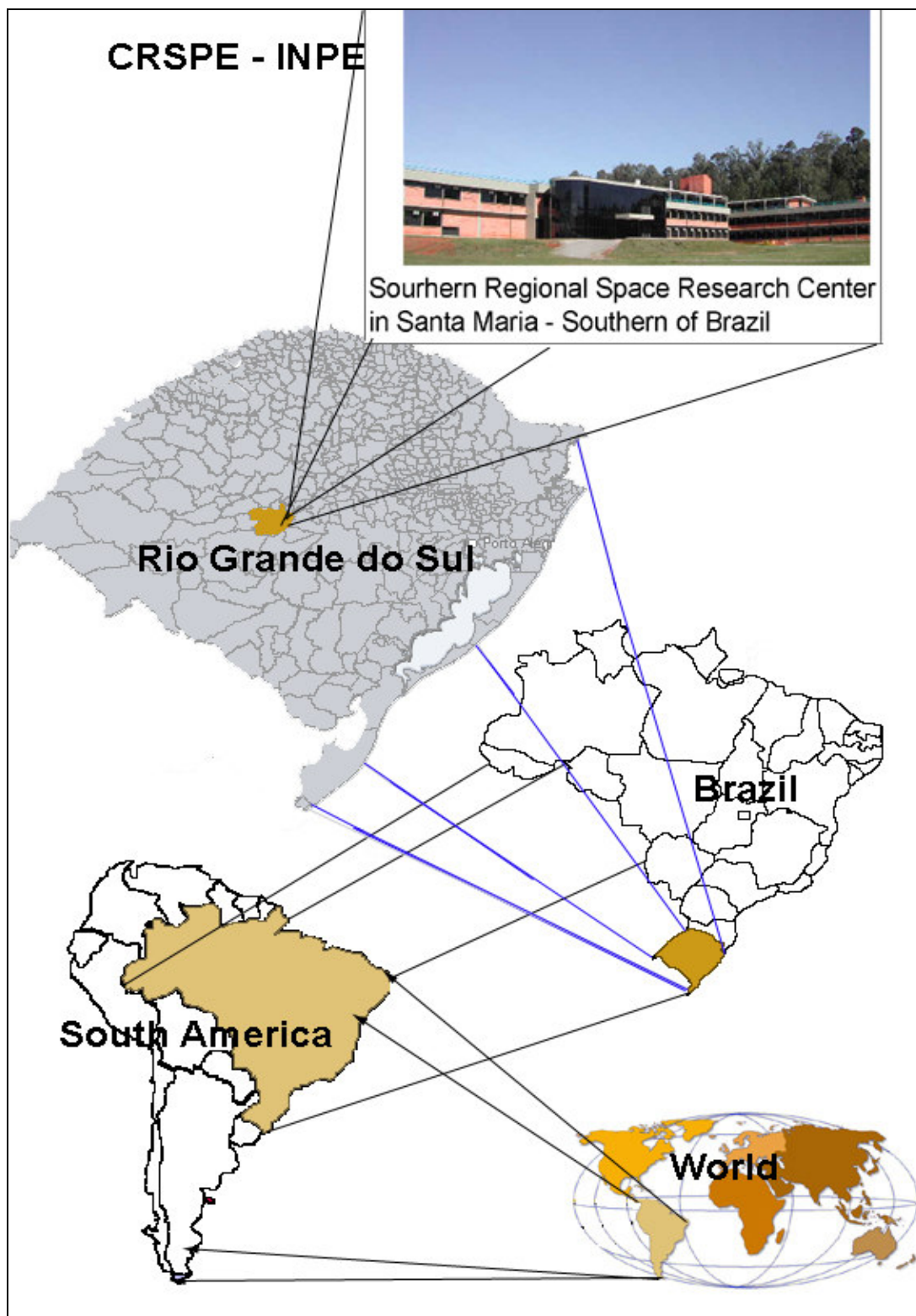
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
- Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE
- Observatório Espacial Sul – OES
- Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI
- Pontifícia Universidade Católica de Uruguaiana – PUC/Uruguaiana

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE



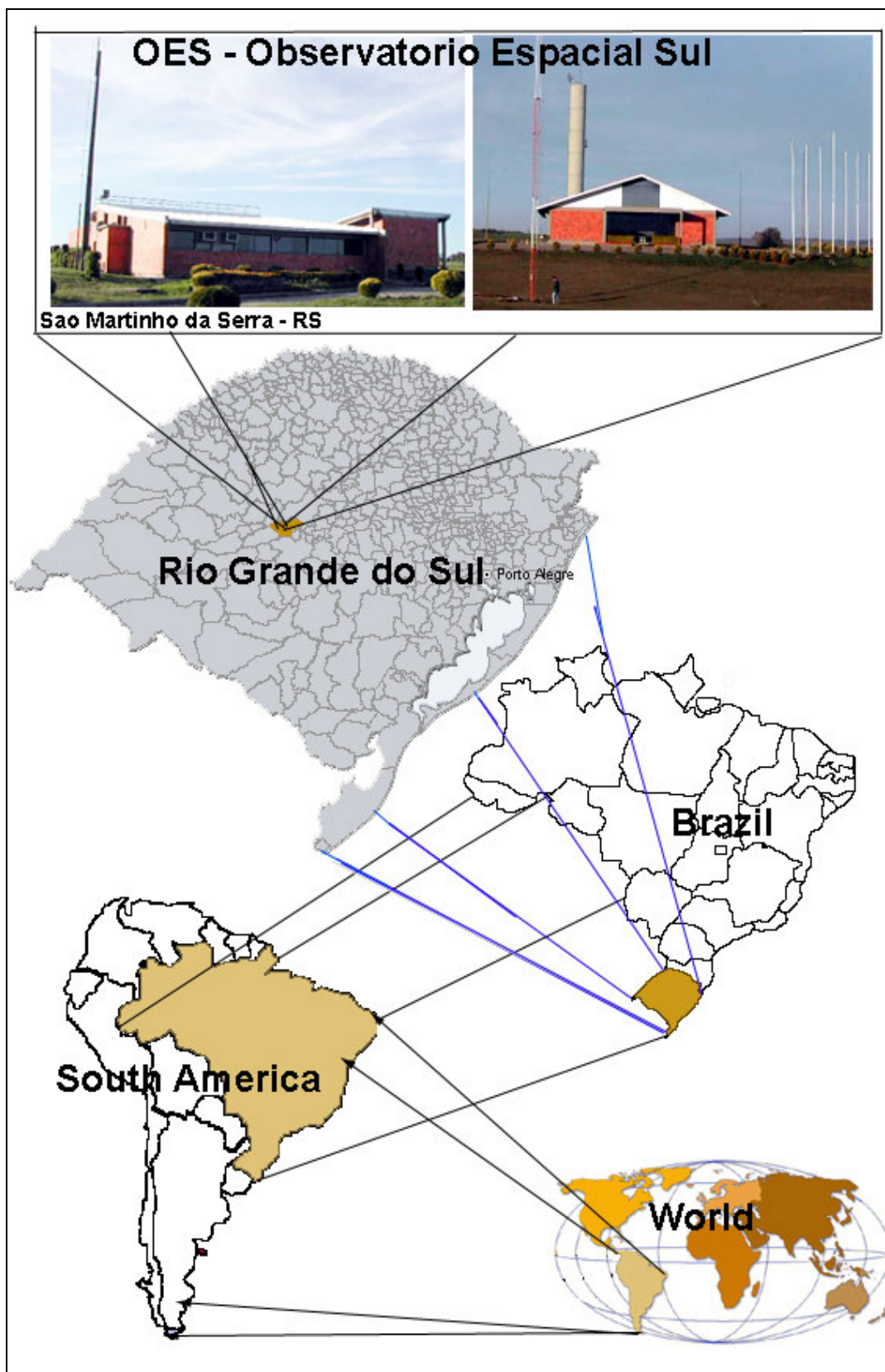
Endereço: Sede: Av. dos Astronautas,1.758 - Jd. Granja - CEP 12227-010 - Fone: (0xx12)-3945-6000 São José dos Campos - SP - Brasil © 2002 INPE. Todos os direitos reservados ao INPE.

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE



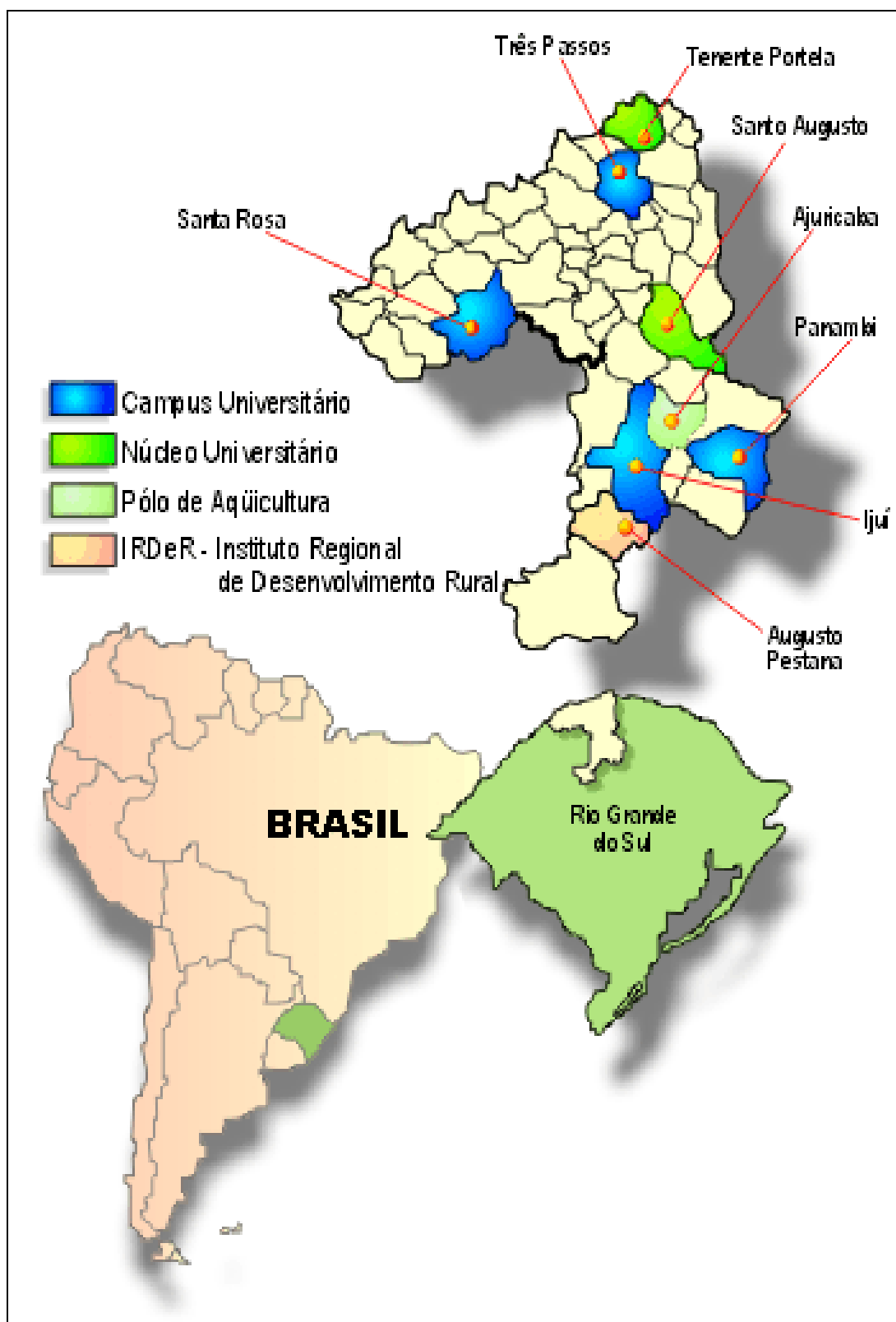
Endereço: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRSPE) Campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM Centro Tecnológico – LACESM – Cidade Universitária CEP 97105-900 - Santa Maria – RS. Fones: (055) 220-8021 e (055) 220-8781 Fax: (055) 220-8007

Observatório Espacial Sul – OES



Endereço: Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE) em São Martinho da Serra/RS  
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI



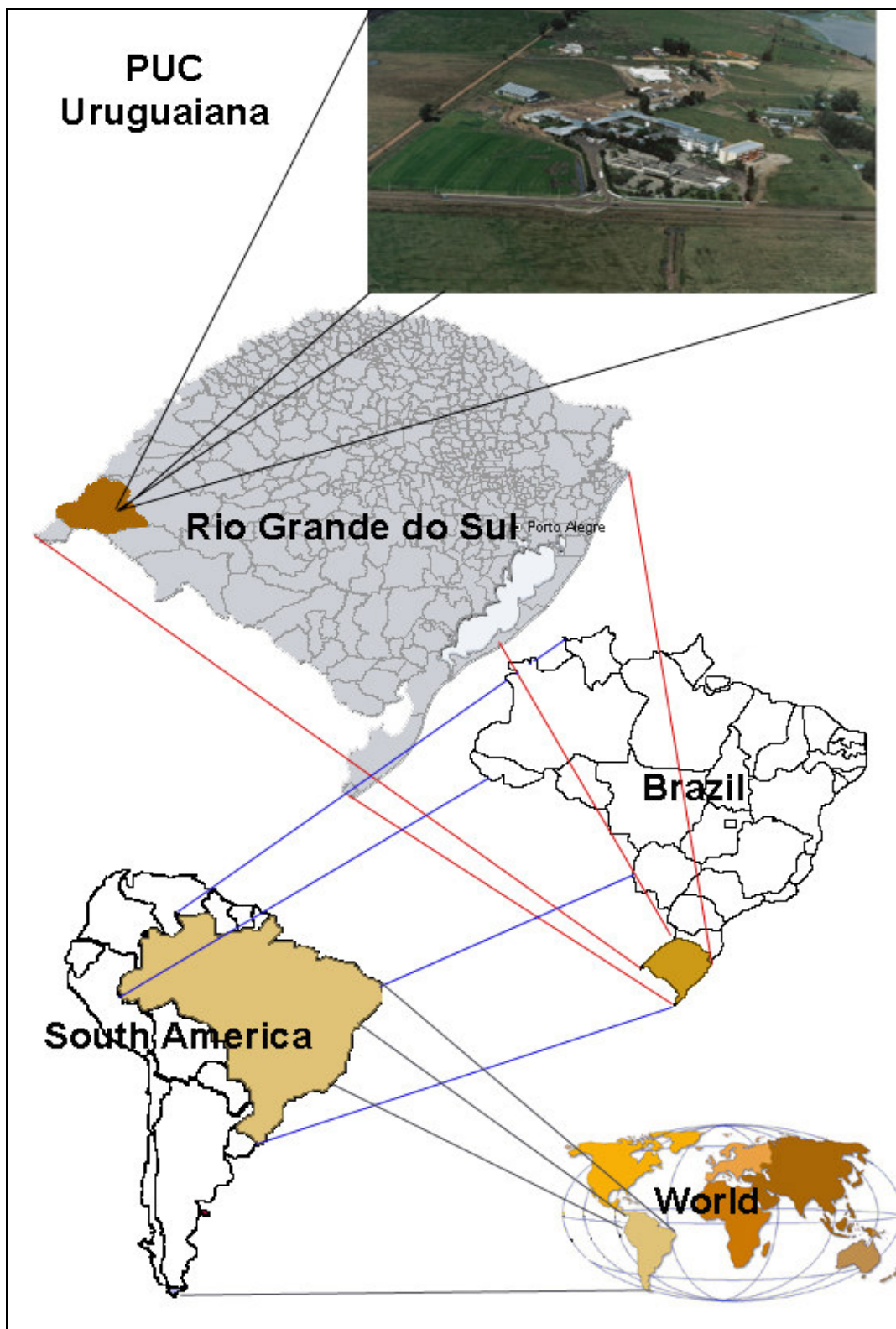


Fonte: [wwwsr.unijui.tche.br](http://wwwsr.unijui.tche.br)

Endereço: UNIJUI Santa Rosa. RS 344, Km 39 CEP 98900-000 - Santa Rosa - RS

Email: [campussr@unijui.tche.br](mailto:campussr@unijui.tche.br) Internet: [wwwsr.unijui.tche.br](http://wwwsr.unijui.tche.br) Fone: (55) 3512-6677

Pontifícia Universidade Católica de Uruguaiana – PUC/Uruguaiana



Endereço: PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - Câmpus Uruguiana BR 472 Km 7 - Cx. Postal 249 CEP 97500-970 Uruguiana, RS. Telefone- (0\*\*55) 413-1515 / FAX - (0\*\*55) 413-1280

## 2.1. – Sobre os fenômenos a serem estudados

Os fenômenos transientes de alta atmosfera ainda são pouco conhecidos, visto que somente foram descobertos na década de 90. A partir desta dada grandes esforços vêm sendo empreendidos por diversos pesquisadores para explicar os fenômenos físicos envolvidos. A medida que as pesquisas evoluíram, varias informações sobre os fenômenos, principalmente os Sprites, foram descobertas. Entretanto sua importância para a manutenção do Circuito Elétrico Atmosférico Global – CEAG e as implicações recíprocas entre fenômenos transientes de alta Atmosfera e a humanidade ainda são pouco conhecidos, daí a necessidade de novas pesquisas.

Para a explicação destes fenômenos, os pesquisadores têm se baseado principalmente na associação com tempestades, no que diz respeito à fonte de energia dos mesmos, nos campos elétricos associados a relâmpagos, que são os campos quase estáticos, devido à distribuição de cargas originais; o pulso eletromagnético devido à propagação do relâmpago de retorno; ou o campo quase eletrostático, devido à redistribuição de cargas na atmosfera por correntes (Tavares, 2002). Esses modelos mostram que os campos elétricos causam a excitação da atmosfera neutra, originando os fenômenos explicados adiante. A Figura 1 mostra alguns dos fenômenos e os campos elétricos associados aos mesmos na sua formação, onde EMP representa os pulsos eletromagnéticos (*electromagnetic Pulses*) e QE representa os campos quase eletrostáticos (*quasi-static electric fields*).

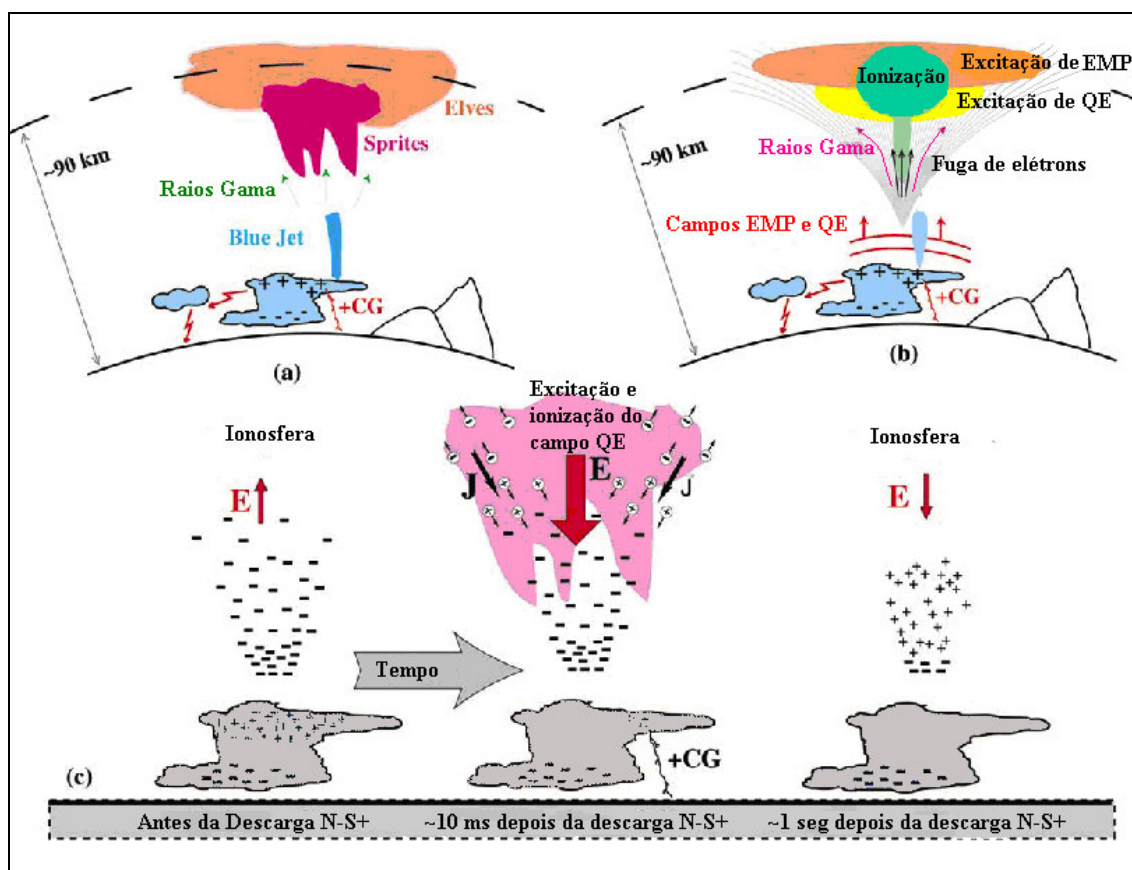


Figura 1 – Sprites, Elves e Campos Elétricos Associados  
Fonte: adaptado de Inan (2002).

### 2.1.1. – Sprites

Foram descobertos a cerca de uma década, resultando de um complexo sistema formado pelo campo elétrico atmosférico global e este apresentam-se como um complemento do CEAG.

São fenômenos óticos de alta atmosfera, ou seja, da mesosfera até a camada D da ionosfera, podendo atingir altitudes de até 95 km de extensão, porém com uma média máxima de altitude de 88 km (Tavares, 1999). São originados acima das nuvens de tempestade e estão associadas a descargas elétricas geradas pelas nuvens, geralmente do tipo nuvem-solo positivas, entretanto podem estar associadas a relâmpagos tipo aranha ou a relâmpagos nuvem-solo negativos de alta intensidade.

Os *sprites* geralmente são de cor avermelhada, porém podem apresentar cores variadas, dependendo da pessoa e as condições atmosféricas envolvidas. Esses fenômenos não são facilmente identificados a olho nu, podendo apenas os mais brilhantes ser observados, visto que ocorrem em média em menos de 1 segundo, sendo possível ao homem apenas fazer uma distinção visual dos fenômenos mais luminosos. Só foi possível visualizar de forma mais adequada esses fenômenos em vídeo a baixa velocidade, além de os mesmos necessitarem de sensores óticos de alta sensibilidade. Um Sprite pode ser visto na Figura 2.

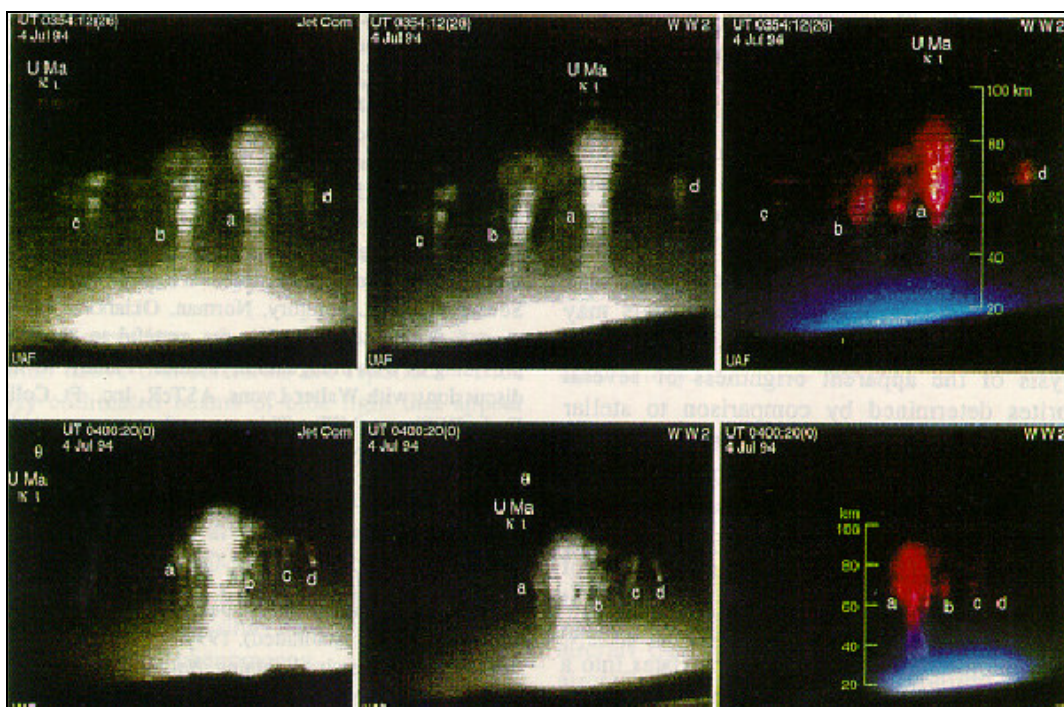


Figura 51 – Imagem dos *sprites*

Fonte: Sentman *et al* (1995a) *apud* Tavares (1999, p. 42 e 44)

Em termos físicos os Sprites podem ser dividido em níveis ou regiões, sendo que a mais brilhante, denominada de cabeça (*head*), se encontra, em média, entre 66 e 74 km de altitude. Acima da cabeça encontra-se o (*hair*), região com um brilho menos intenso e com uma estrutura de finas estrias, que se estende em média até 88 km, e que é separada por uma banda escura denominada de (*hair line*). Nos eventos mais luminosos observou-se outra banda escura, porém logo abaixo da cabeça, denominada de (*collar*) e abaixo desse estendem-se filamentos denominados de (*tendrils*) ou “tentáculos”, com uma cor vermelha abaixo do colar,

passando gradualmente para o azul a medida em que se estende para baixo, possuindo os mesmos uma altura estimada em 40 km (Tavares, 1999).

Há indicações de que os relâmpagos gerados durante as tempestades criem um intenso campo eletrostático na atmosfera, fazendo com que os íons e elétrons dispersos na atmosfera sejam excitados de forma a emitir a luz vermelha. Eles ocorrem por um processo muito similar a formação de auroras, mas que, no entanto, devido ao fato de os mesmos ocorrerem em altitudes inferiores que a aurora, onde a frequência de colisão entre as partículas é maior, apenas formam emissões de vida curta, sendo resultado de transições rápidas (Tavares, 1999). Assim, ocorrem associados a tempestades com alta atividade elétrica, como as Cumulonimbus Cb, que se encontram em sistemas tropicais, frentes, linhas de instabilidade, sistemas convectivos de mesoescala, complexos convectivos de mesoescala, entre outros menos comuns.

A estimativa de luminosidade dos Sprites pode ser feita com base no brilho dos corpos celestes, sendo que a intensidade ótica média dos Sprites é tida em torno de 10-50 kR, assemelhando-se a uma aurora de brilho moderado. Devido a essa baixa intensidade luminosa e a curta duração é que o homem só é capaz de perceber os eventos mais brilhantes.

Em termos estatísticos, estima-se que os Sprites ocorrem numa proporção de 1 para cada 200 relâmpagos. Entretanto, apesar de sua baixa densidade em relação aos relâmpagos, sua influencia e importância ainda é pouco conhecida e demanda pesquisas.

### 2.1.2. - E.L.V.E.S. (Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations From Electromagnetically Pulsed Sources)

Os E.L.V.E.S. (Emissões de Luz e perturbações VLF causadas por fontes de pulsos Eletromagnéticos) são uma espécie de anel luminescente que ocorre na camada D ionosférica, precedendo os *sprites*, porém com uma intensidade muito mais baixa. Sendo que apresentam uma rápida expansão e parecem estar associados a relâmpagos positivos de grande intensidade. Sua influência provável se dá nas ondas de rádio. Na Figura 53 pode ser vista uma representação de um E.L.V.E.

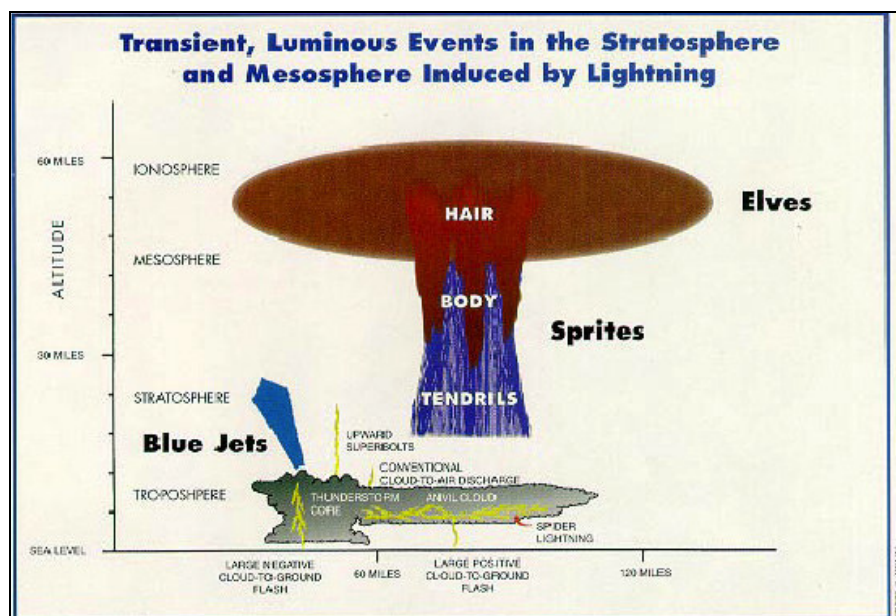


FIGURA 53 – Estrutura de um E.L.V.E.S.

Fonte: Lyons (1997) *apud* Tavares (1999, p. 56)

### 2.1.3. - Jatos Azuis ou “Blue Jats”

Os *blue Jats* ou jatos azuis são feixes sob forma de cones ( $14.7^\circ +$  ou  $-$ ) que saem do topo da tempestade, de cor azul, sendo quase verticais e, suas extremidades formam uma degrade com a Atmosfera o que os deixa mais fracos. Estão associados ao granizo das tempestades. A Figura 52 mostra um exemplo e jatos azuis.

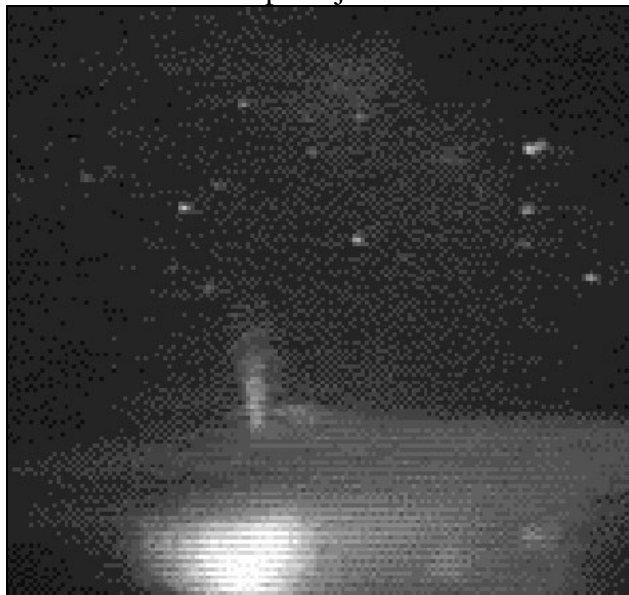


FIGURA 52 – Jatos azuis, *blue jats* em preto e branco  
Fonte: Sentman (1998) e Tavares (1999, p. 49 e 50)

### 2.1.4. – Precursores Azuis ou Precursores

Apresentam semelhança com os jatos azuis, porém com altitude terminal menor, que ocorrem até os 25,5 Km de altitude. Em geral não apresentam relação direta com nenhum tipo de relâmpago porém há evidências que sugerem uma relação com tempestades de granizo, devido as fortes convecções ascendentes (Tavares, 1999).

Os estudos destes fenômenos são feitos em geral a partir de imagens de satélites, de câmeras de alta sensibilidade bem como um conjunto de equipamentos óticos, com dados de redes de detecção de relâmpagos, onde se busca correlacionar as informações deste banco de dados a fim de obter as respostas. Conforme análises desenvolvidas por Tavares (1999), o número mais elevado de *sprites* não está necessariamente associado ao período de maior ocorrência de descargas atmosféricas positivas. Sendo que se conseguiu isolar uma única descarga atmosférica positiva para cada *sprite*, porém se verificou que não há uma correlação entre a corrente total dos relâmpagos positivos e os Sprites.

## 2.2. – Sobre os objetivos da reunião

Perante a realização das pesquisas, uma série de requisições são feitas para que se possa executar bons registros do fenômeno, assim, as focagens para Oeste do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Norte da Argentina e Sul do Paraguai demandam condições geográficas que permitam registrar estes fenômenos acima das tempestades. Desta forma a equipe de

pesquisadores selecionou Santa Rosa ou arredores como um ponto para instalação dos instrumentos. Desta forma os objetivos específicos da reunião são apresentados a seguir:

- Firmar um acordo para utilização de uma área do campus da Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI para instalação dos instrumentos;
- Verificar as condições locais como presença de fontes luminosas, fornecimento de energia, local seguro para guardar os equipamentos durante o período em que não estarão operando;
- Discutir e apresentar o Projeto Sprite Brazil para os responsáveis da Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI;
- Adquirir material gráfico da Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, para as primeiras análises da equipe de pesquisadores.

### 2.3. – Sobre os resultados preliminares

A reunião realizou-se no Campus da UNIJUI Santa Rosa na manhã do dia 27 de outubro de 2004, contado com a presença do Pró-Reitor do Campus da UNIJUI Santa Rosa, Dr. Pedro Luis Büttenbernder ([pedrolb@unijui.tche.br](mailto:pedrolb@unijui.tche.br)), a presença chefe do Departamento de Tecnologia da UNIJUI, Dr. Fabiano Salvadori ([f.salvadori@unijui.tche.br](mailto:f.salvadori@unijui.tche.br)). O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais foi representado pelo coordenador de implantação do CRSPE, Phd. Nelson Jorge Schuch ([njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)) e o acadêmico de Geografia e Física da UFSM e responsável a nível discente pelo Laboratório de Eletricidade Atmosférica, Fábio Marcelo Breunig ([breunig@lacesm.ufsm.br](mailto:breunig@lacesm.ufsm.br)).

Iniciada a reunião, num primeiro momento tivemos a apresentação da atual situação do CRSPE pelo Phd. Nelson Jorge Schuch aos representantes da UNIJUI. Após isto e de manifestações de ambos os lados, colocou-se o objetivo da reunião, ou seja, a possibilidade de firmação de um acordo entre as duas instituições, possibilitando a instalação dos instrumentos da Campanha Sprite Brazil.

Após esta colocação, os representantes da UNIJUI mostraram-se bastante satisfeitos e motivados pela firmação do acordo. Assim, disponibilizaram os recursos necessários para a realização do Projeto. Nada mais tendo a tratar, ambas a partes concordaram e assinar o mais breve possível tal acordo, agora nas dependências burocráticas a serem discutidas entre as partes.

### 2.4. – Sobre as possibilidades/recursos da UNIJUI

Os representantes da UNIJUI nos informaram da disponibilidade dos seguintes recursos para a Campanha Sprite Brazil:

- Local seguro para guardar os equipamentos durante o período em que não estiverem operando;
- Disponibilidade do auxílio de acadêmicos da instituição para a manutenção e operação dos equipamentos;
- Fonte de energia estabilizada;

- Local escuro;
- Bases para instalar os instrumentos;
- Pontos para acesso a internet;
- Na necessidade de outras demandas, haverá deliberação entre as partes que firmaram o referido acordo.

### 3. – CONSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DA REUNIÃO

Tendo em vista os objetivos da reunião, podemos afirmar que estes foram atingidos, e que ambas as partes concordaram em firmar um acordo oficial para possíveis interações entre as instituições, principalmente no que se refere a Campanha Sprite Brazil. Nada mais tendo a declarar, encerrou-se a reunião.

### 4. – REFERENCIAS

#### REFERENCIAS PRIMÁRIAS:

Dr. Nelson Jorge Schuch ([njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)) CRSPE/INPE – MCT

Dr. Fabiano Salvadori ([f.salvadori@unijui.cthe.br](mailto:f.salvadori@unijui.cthe.br)) UNIJUI

Dr. Pedro Luis Büttner ([pedrolb@unijui.tche.br](mailto:pedrolb@unijui.tche.br)) UNIJUI

Acd. Fabio Marcelo Breunig ([breunig@lacesm.ufsm.br](mailto:breunig@lacesm.ufsm.br)) CRSPE-INPE e UFSM  
UNIJUI. Site da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.  
Disponível em: <[www.unijui.cthe.br](http://www.unijui.cthe.br)>

INPE. Site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <[www.inpe.br](http://www.inpe.br)>

CRSPE. Site do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Disponível em:  
<[www.crspe.net](http://www.crspe.net)>