



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

## ANÁLISE DE DADOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS OBTIDAS POR SATÉLITES

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

Mateus Cesar de Almeida Ferreira (FEG/UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq).  
e-mail: mateus.ferreira@uol.com.br

Iara Regina Cardoso de Almeida Pinto (ELAT/INPE, Orientadora).  
e-mail: iara@dge.inpe.br

Osmar Pinto Junior (ELAT/INPE).  
e-mail: osmar@dge.inpe.br

Julho de 2009

# SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2. TEORIA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Formação de descargas atmosféricas.....	4
2.2 LIS (Lightning Imaging Sensor).....	6
<b>3. MAPINFO.....</b>	<b>7</b>
<b>4. PROGRAMA DESENVOLVIDO.....</b>	<b>7</b>
4.1 Cálculo de distância entre dois pontos.....	7
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>8</b>
5.1 Região Sul.....	9
5.2 Região Sudeste.....	14
5.3 Região Centro – Oeste.....	19
5.4 Região Nordeste.....	24
5.5 Região Norte.....	29
<b>6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
6.1 Região Sul.....	33
6.2 Região Sudeste.....	33
6.3 Região Centro – Oeste.....	33
6.4 Região Nordeste.....	34
6.5 Região Norte.....	34
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>35</b>
<b>9. AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>35</b>

## **Análise de dados de descargas atmosféricas obtidas por satélites**

Mateus Cesar de Almeida Ferreira<sup>1</sup> (FEG/UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)

Iara Regina Cardoso de Almeida Pinto (ELAT/INPE, Orientadora)<sup>2</sup>

Osmar Pinto Junior (ELAT/INPE)<sup>3</sup>

### **RESUMO**

Este trabalho, iniciado em agosto de 2008, tem como objetivo estudar ocorrência de descargas atmosféricas em amostras de tempestade com base nos dados obtidos pelo sensor Lightning Imaging Sensor (LIS), que é um instrumento científico utilizado para a detecção da distribuição e variação de descargas atmosféricas (Raios nuvem-nuvem, intranuvem e nuvem-solo) que ocorrem nas regiões tropicais e temperadas do globo, a bordo do satélite TRMM. Estes dados foram utilizados para gerar histogramas e gráficos sobre as amostras de tempestades para as diferentes regiões do Brasil de 1999 a 2007. Os resultados são comparados entre si buscando identificar se já existem efeitos significativos nas mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global sobre os raios no Brasil. Dado as conseqüências desta incidência em termos de vida e prejuízos, tal estudo apresenta um caráter estratégico para o país nas próximas décadas.

---

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Engenharia Elétrica, UNESP. **E-mail: mateus.ferreira@uol.com.br**

<sup>2</sup> Pesquisador (Orientadora) da Divisão de Geofísica Espacial. **E-mail: iara@dge.inpe.br**

<sup>3</sup> Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial. **E-mail: osmar@dge.inpe.br**

## **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho, iniciado em agosto de 2008, tem como objetivo estudar a ocorrência de descargas atmosféricas em amostras de tempestades nos anos de 1999 a 2007.

## **2. TEORIA**

Nesta seção é explicada a formação de descargas atmosféricas. A detecção da distribuição e variação dessas descargas são feitas pelo LIS (Lightning Imaging Sensor). Com base nos dados gerados pelo LIS, com o software MapInfo e com os dados filtrados através de uma programa criado para este estudo são gerados histogramas e gráficos sobre as amostras de tempestades para as diferentes regiões do país. Os resultados serão comparados entre si e as suas diferenças são discutidas.

### **2.1 Formação de descargas atmosféricas**

As nuvens se eletrizam a partir de colisões de partículas de gelo acumuladas em seu interior. Durante as colisões, as partículas de gelo perdem elétrons e transformam-se em íons. Isso torna a nuvem eletricamente carregada. As partículas têm tamanho variado e, segundo medidas feitas por sondas meteorológicas, as menores e mais leves ficam com cargas positivas e as maiores e mais pesadas com carga negativa. Alguns fatores como os ventos, a temperatura e força da gravidade fazem com que cargas de mesmo sinal se concentrem em regiões específicas da nuvem. Geralmente a parte inferior, próximo a base da nuvem, e a parte superior ou o topo da nuvem, são os locais de maior acúmulo de carga, de sinais contrários, funcionando assim como armaduras de um capacitor.

As cargas distribuídas na base e no topo das nuvens produzem um campo elétrico interno. Além disso, com o acúmulo de cargas em sua superfície externa, a nuvem pode provocar uma indução eletrostática na superfície de outras nuvens ou no solo imediatamente abaixo. Neste caso cria-se um campo elétrico entre nuvens ou entre a nuvem e o solo.

Enquanto os choques das partículas dentro da nuvem se intensificam, a quantidade de carga em sua superfície aumenta e, conseqüentemente, o campo elétrico criado por essas cargas também se eleva. Com o aumento da intensidade desse campo, as moléculas de ar entre as partes eletrizadas sofrem polarização e se orientam de acordo com o campo elétrico. O efeito de polarização se intensifica com o aumento da intensidade do campo até o ponto em que elétrons são arrancados das moléculas do ar. O ar, dessa forma ionizado, se transforma em um condutor gasoso. Genericamente, o valor de campo elétrico que provoca ionização em um meio é denominado rigidez dielétrica desse meio. No ar, a rigidez dielétrica varia com as condições da atmosfera. Quando o campo elétrico ultrapassa esse valor limite, diz-se que houve uma quebra da rigidez dielétrica do meio. Isso transforma o isolante em condutor. Como conseqüência, os íons negativos e os elétrons livres do ar são fortemente atraídos pelas cargas positivas presentes nas nuvens ou induzidas no solo, formando um caminho chamado de canal condutor. Assim sendo, o movimento de cargas negativas no canal condutor pode ocorrer tanto intranuvem como entre nuvens ou entre nuvem e solo. Em cerca de 90% dos casos as descargas elétricas se originam próximo a

base da nuvem, quase sempre eletrizada negativamente. Portanto, em geral, é uma carga negativa que inicia o processo de descarga elétrica atmosférica.

As primeiras cargas a se movimentarem, na maioria das vezes vinda da região de cargas negativas dentro da nuvem Forman o Líder Escalonado. É chamado assim porque desce em etapas ou escalas, em intervalos de tempo quase uniformes. Algumas cargas seguem novos caminhos fora do canal principal, criando ramificações em muitos pontos. Isso porque há íons na atmosfera, distribuídos de maneira não uniforme, o que acaba por atrair ou repelir essas cargas.

A carga do Líder, em geral negativa, aproxima-se de cargas positivas localizadas no solo ou nas nuvens. A carga acumulada no canal condutor produz um aumento na intensidade do campo elétrico entre as cargas, gerando uma nova quebra da rigidez dielétrica do ar. Por efeito dessa quebra, devido ao alto nível de intensidade desse campo, íons positivos são arrancados do solo (ou cargas negativas são afastadas da onde o líder se dirige). A intensificação do campo elétrico provoca o surgimento de vários caminhos (canais) por onde esses íons se deslocam ao encontro da Líder. Os íons positivos são denominados Líderes Conectantes ou Descargas Conectantes. No caso de descargas nuvem-solo, esse segundo rompimento da rigidez dielétrica ocorre quando a Líder está cerca de 10 m de distância do local de onde os íons positivos são arrancados. Essas cargas se encontram aproximadamente a meia distância do percurso. Assim se completa o canal do relâmpago. Todas as cargas negativas que seguem a Carga Líder movem-se através dos novos canais por onde passaram os íons positivos até alcançar os pontos de onde eles partiram. A descarga que saiu do solo continua seu movimento até a nuvem e passa a ser denominada descarga de retorno.

As principais conseqüências das descargas elétricas atmosféricas (relâmpagos) são a luz e o som (trovão). A luz é produzida basicamente pela radiação eletromagnética emitida por elétrons que, após serem excitados pela energia elétrica, retornam a seus estados fundamentais. Isto ocorre principalmente na descarga de retorno e por esta razão, no caso da descarga nuvem-solo (ou raios), a geração da luz é feita de baixo para cima. A luz do relâmpago é bastante intensa devido à grande quantidade de moléculas excitadas. Pode-se observar que as ramificações do canal são menos brilhantes pela menor quantidade de cargas presentes nessa região.

Quando há apenas uma descarga de retorno, o relâmpago é classificado como relâmpago simples. Os relâmpagos múltiplos acontecem quando a nuvem não se descarrega completamente durante o primeiro raio. Neste caso, a cargas remanescentes se acumulam novamente na nuvem e o fenômeno se reproduz através dos mesmos passos descritos neste tópico. A Carga Líder poderá ser um Líder Contínuo (um líder que não desce em etapas e aproveita o canal que já existe), ou um Líder Contínuo-escalonado (se parte do canal se desfizer). A descarga de retorno será denominada Descarga de Retorno Subseqüente unicamente. Para que aconteça mais de um relâmpago, tudo vai depender do tempo que a nuvem leva para se recarregar. A maioria dos relâmpagos é do tipo múltiplo.

O raio entre a nuvem e o solo também podem iniciar por Líderes positivos descendentes, correspondendo a movimentos de subida de cargas negativas (elétrons). A descarga de retorno resultante transporta cargas positivas da nuvem para o solo. Estes são os raios nuvem-solo positivos e no geral eles não se seguem de descargas de retorno subseqüentes, sendo classificados como relâmpagos simples. Eles causam maiores danos do que os negativos. Muitos acidentes como incêndios em florestas e estragos em linhas de energia são causados por este tipo de raio.

## **2.2 LIS (Lightning Imaging Sensor)**

O Lightning Imaging Sensor (LIS), é um instrumento de base espacial utilizado para a detecção de distribuição e variação do total de descargas atmosféricas (Raios nuvem-nuvem, intranuvem, e nuvem-solo) que ocorre nas regiões tropicais e temperadas do globo. O LIS é um instrumento científico, a bordo do satélite TRMM, que foi lançado em 28 de novembro 1997 a partir do Centro Espacial Tanegashima no Japão.

Este sensor consiste em captar imagem, que é otimizada para localizar e detectar tempestades com raios em uma escala de resolução (4 a 7 km) sobre uma grande região (600 x 600 km) da superfície da Terra. O satélite TRMM percorre uma distância de 7km/s em torno da órbita da Terra, deste modo o LIS pode observar um ponto da Terra ou de uma nuvem por quase 90 segundos quando passa por eles. Apesar da breve duração de uma observação, ela é longa o bastante para estimar a taxa de raios de tempestades. O instrumento que registra a hora da ocorrência, as medidas de energia radiante, e determina a localização de incidência de raios no seu campo de visão.

Este sensor calibrado utiliza um amplo campo de visão da lente óptica expandida com uma faixa estreita de filtro em conjunto com uma carga de alta velocidade acoplada ao dispositivo de detecção. Um Real Time Event Processor (RTEP), no interior da unidade eletrônica, é usado para determinar quando um relâmpago ocorre, mesmo na presença de nuvens claras iluminadas pelo sol.

Fracos sinais de raios que ocorrem durante o dia, são difíceis de detectar devido à iluminação de fundo. O RTEP irá remover o sinal de fundo, permitindo, assim, o sistema detectar relâmpagos fracos e conseguir uma detecção 90% eficiente.

Dados do Lightning Imaging Sensor estão sendo utilizados para estudar fenômenos de mesoscala como as tempestade. Estes fenômenos são relacionados com taxas globais de distribuição de precipitação de convecção, bem como para a liberação e transporte de calor latente, que são influenciados por todos os processos de escala global.

O LIS é um instrumento projetado pela equipe de descargas atmosféricas GHCC e foi fabricado no Marshall Space Flight Center, em Huntsville, Alabama. O LIS contribui significativamente para os objetivos da missão TRMM fornecendo uma climatologia global de descargas atmosféricas e trovoadas a partir da qual as alterações (mesmo a sutis variações de temperatura) podem ser facilmente detectadas.

O instrumento LIS é parte do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). TRMM é uma missão conjunta entre a NASA e National Space Development Agency (NASDA), do Japão, destinada a acompanhar e estudar chuvas tropicais e liberação de energia relacionada a circulação atmosférica global e o clima em todo o mundo.

## **3. MapInfo**

A partir dos dados recolhidos pelo LIS, eles foram inseridos no software MapInfo. No MapInfo os dados são organizados em forma de tabela que contem colunas como: Ano, Mês, Dia, Hora UTC, Latitude, Longitude, Milissegundos, Radiância, Grupos, Eventos e Órbita\_ID.

Com o MapInfo é possível criar pontos que representam as descargas atmosféricas captadas pelo LIS. Os pontos são criados com os dados de latitude e longitude.

Para esse estudo, os dados das descargas atmosféricas recolhidos pelo LIS para o Brasil foram filtrados pelo programa desenvolvido. Os dados filtrados correspondem a amostras de tempestades. Com o MapInfo, cada amostra de tempestade passa a ser representada como um ponto, com base nas informações de latitude e longitude de cada amostra. Os dados filtrados contem uma coluna a mais (que foi adicionada pelo programa desenvolvido) que indica a quantidade de descargas atmosféricas captadas pelo LIS para cada amostra de tempestade.

A partir dos dados que representam as amostras de tempestades foram criados histogramas e gráficos para as diferentes regiões do Brasil. Os histogramas e gráficos ainda foram divididos em amostras de tempestades que apresentaram mais de cinco, dez ou quinze descargas atmosféricas.

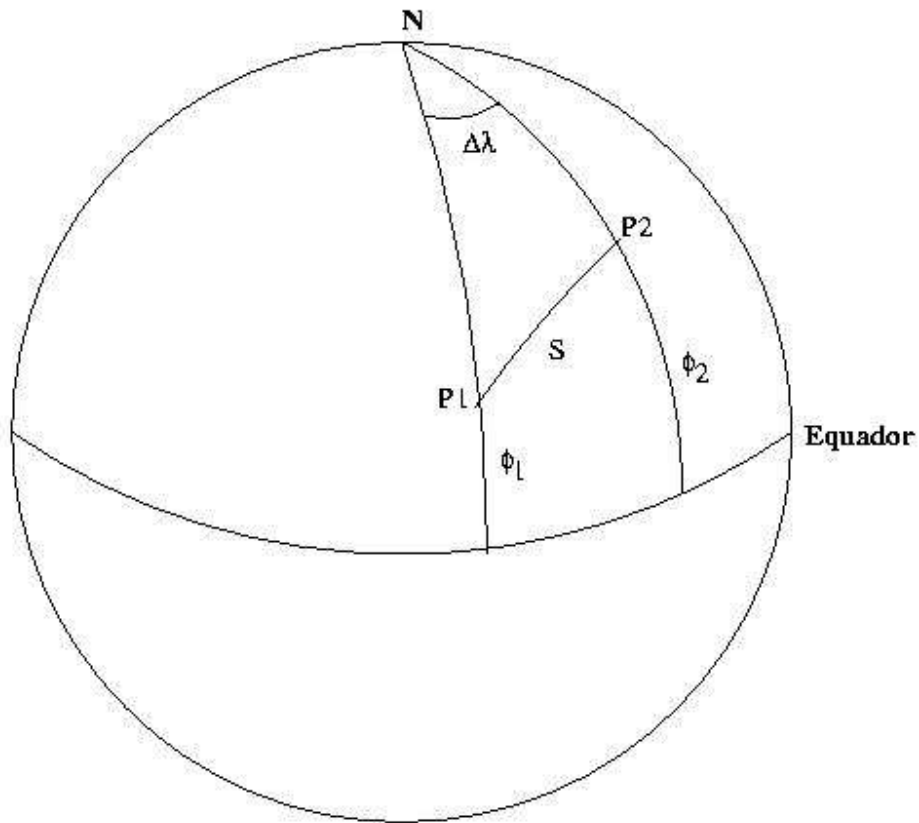
#### **4. PROGRAMA DESENVOLVIDO**

Uma tempestade tem um tamanho aproximado de 10km. O LIS pode detectar uma descarga atmosférica em um raio de 600km e observar um ponto por 90 segundos. Assim, para analisar a ocorrência de descargas atmosféricas nas tempestades é necessário criar um programa que selecione e agrupe os dados fornecidos pelo LIS de forma que os raios pertencentes à mesma tempestades fiquem no mesmo grupo.

Com isso, o arquivo com os dados (Ano, Mês, Dia, Hora UTC, Latitude, Longitude, Milissegundos, Radiância, Grupos, Eventos e Órbita\_ID) de cada descarga atmosférica que o LIS fornece é lido e filtrado pelo programa que cria um novo arquivo que contem as mesmas colunas de dados, mas que agora são de amostras de tempestades. Esse novo arquivo ainda apresenta uma coluna nova de dados que indica a quantidade de descargas atmosférica que o LIS captou das tempestades durante os 90 segundos que ele as tem sob observação.

##### **4.1 Cálculo da distância entre dois pontos**

O cálculo utilizado no programa para identificar se as descargas atmosféricas captadas pelo LIS estão no máximo a 10km uma a outra foi realizado da seguinte maneira: considerando a Terra esférica (Figura 1), duas descargas atmosféricas P1 e P2 são identificadas na superfície da Terra com suas respectivas coordenadas  $\phi_1$  e  $\phi_2$  sendo suas latitudes geográficas e  $\Delta\lambda$  a diferença entre suas longitudes.



*Figura 1*

Pela lei dos co-senos, da trigonometria esférica tem-se:

$$\cos(S) = \text{sen}(\Phi_2)\text{sen}(\Phi_1) + \cos(\Phi_2)\cos(\Phi_1)\cos(\Delta\lambda) \quad (1)$$

Encontrando o arco S que une as duas descargas atmosféricas e multiplicando pelo valor do raio da Terra (utilizado o valor de 6738km) obtém-se o valor da distancia entre elas.

## **5. RESULTADOS**

Neste tópico são apresentados alguns mapas temáticos obtidos pelo MapInfo e alguns gráficos.



## 5.1 Região Sul

Os mapas temáticos abaixo são exemplos dos mapas criados pelo MapInfo para a região sul com cada grade tendo 50km<sup>2</sup>.

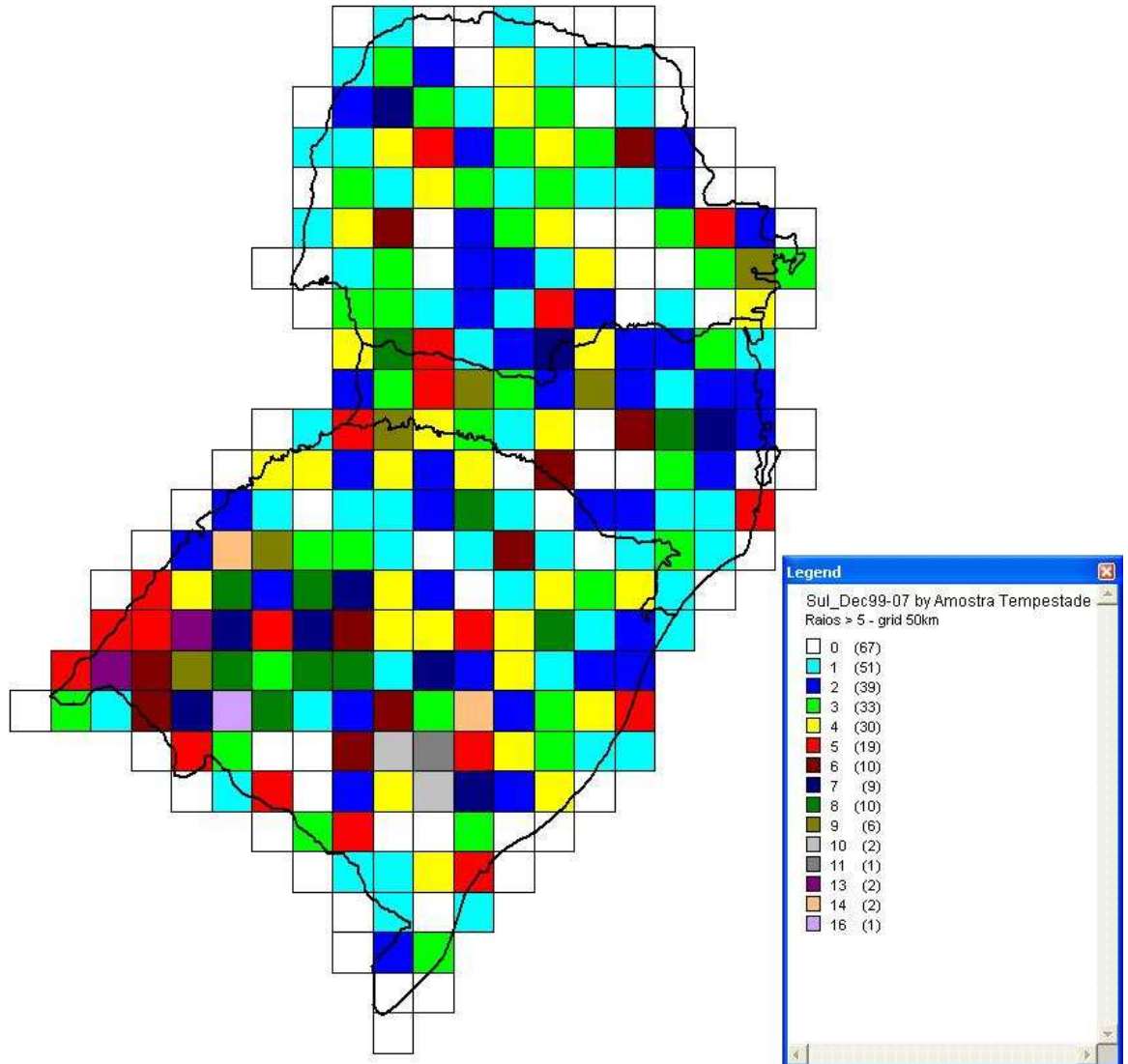


Figura 2

A figura 2 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas na região sul para o mês de dezembro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

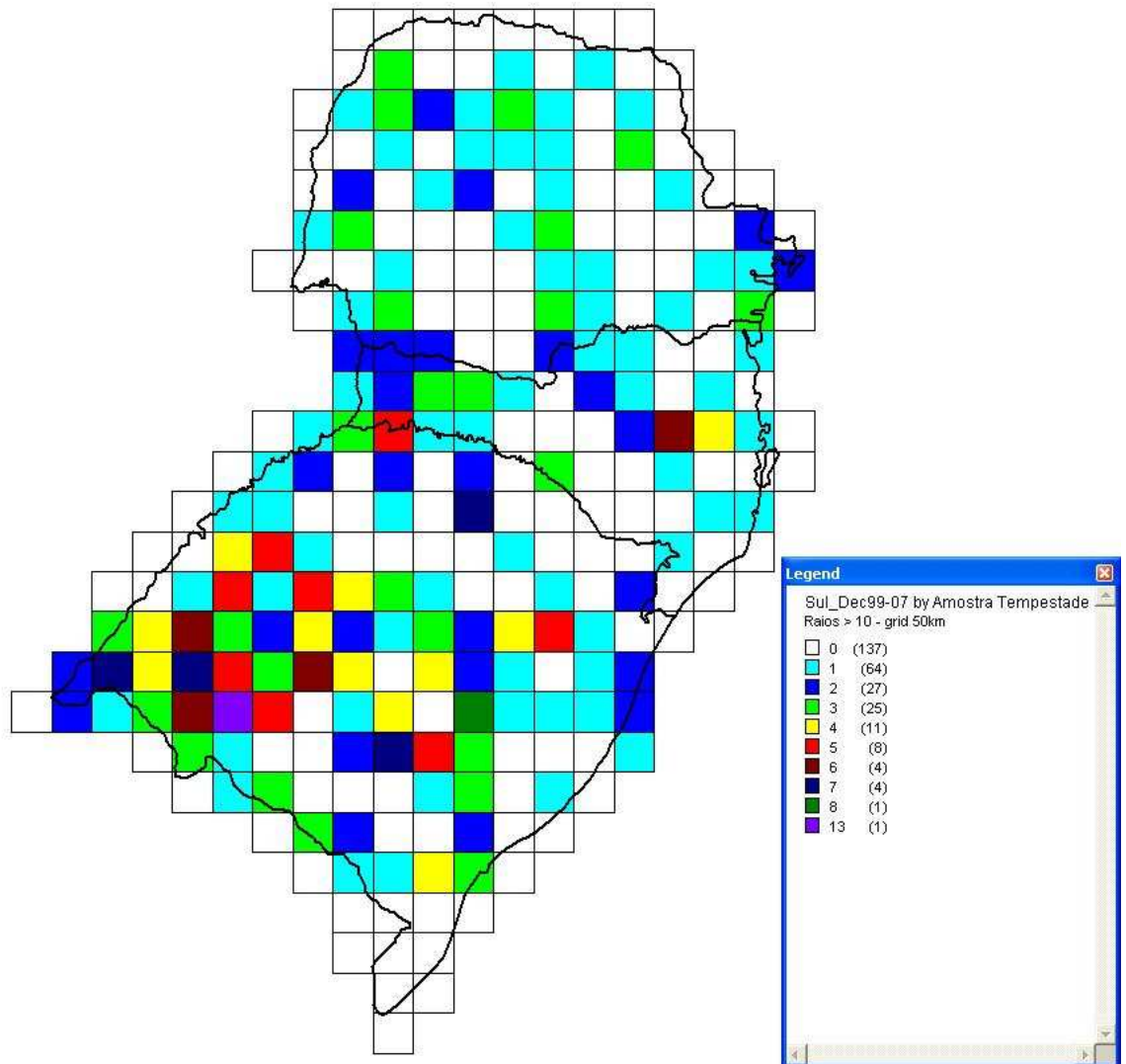


Figura 3

A figura 3 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas na região sul para o mês de dezembro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

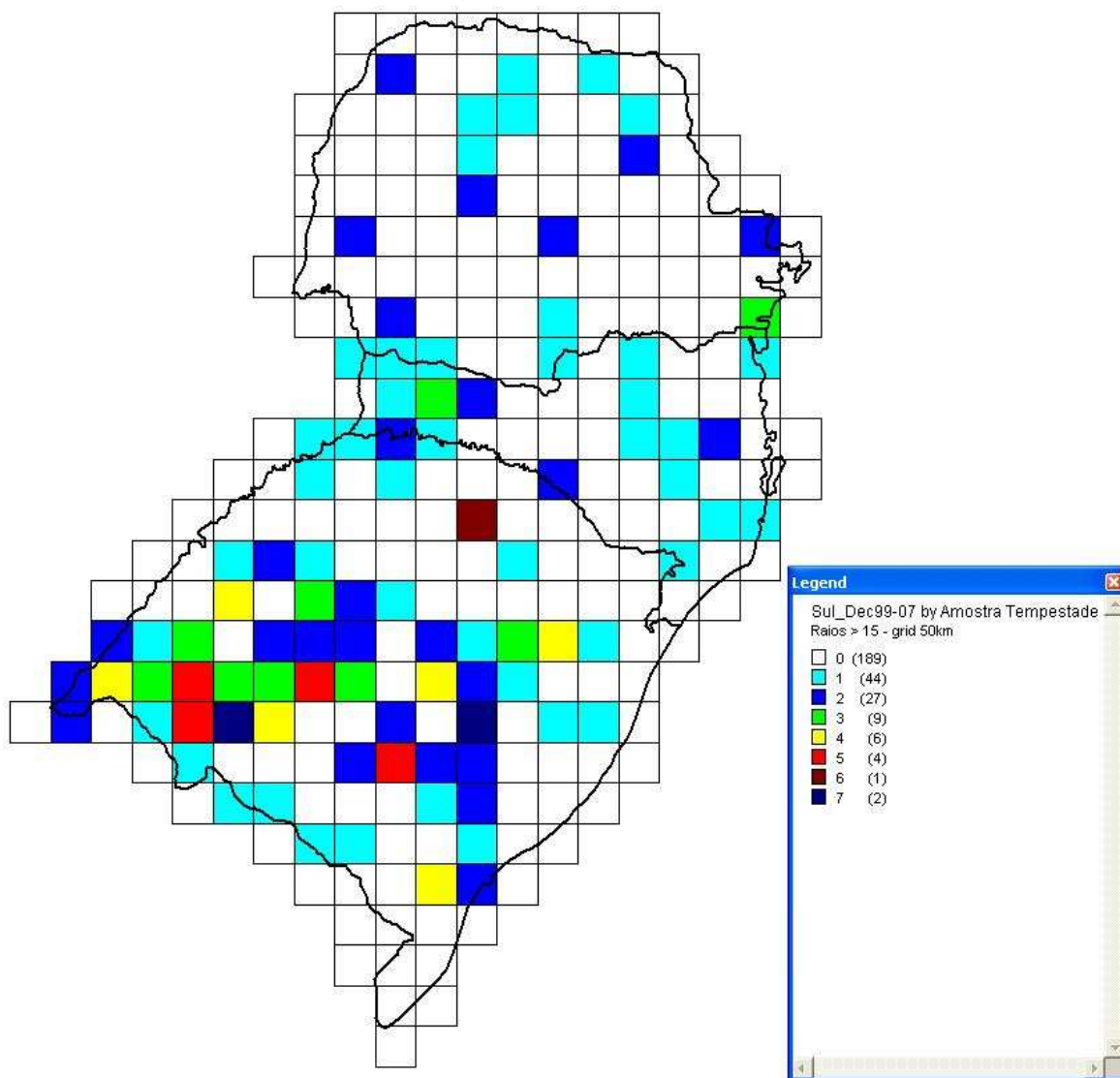


Figura 4

A figura 4 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas na região sul para o mês de dezembro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

O gráfico a seguir indica o número de amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas para a região sul com o acumulado de cada ano.

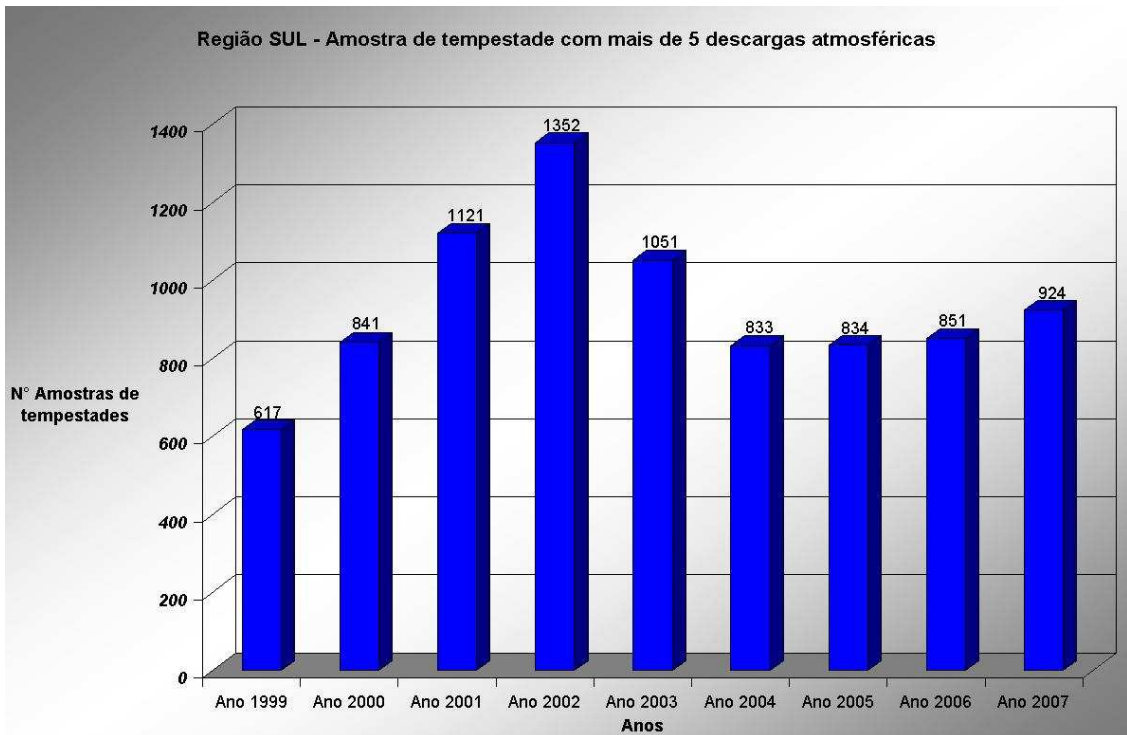


Figura 5

O gráfico a seguir mostra o número de amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas para a região sul com o total apresentado em cada ano de estudo.

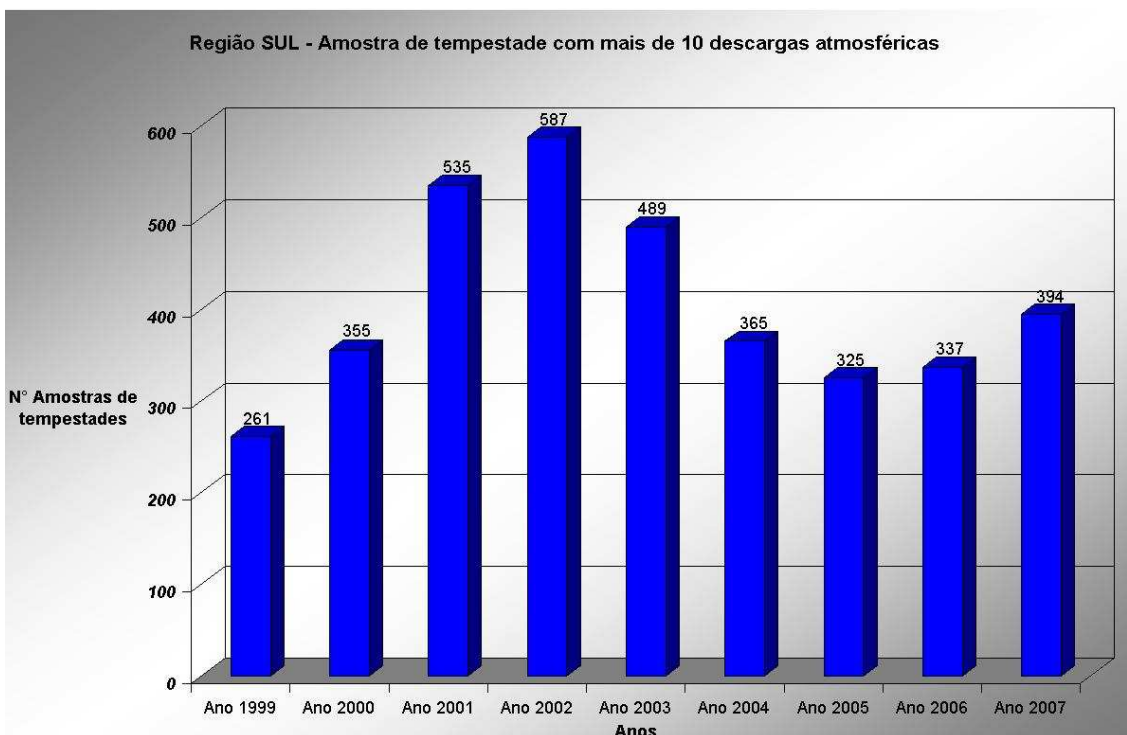
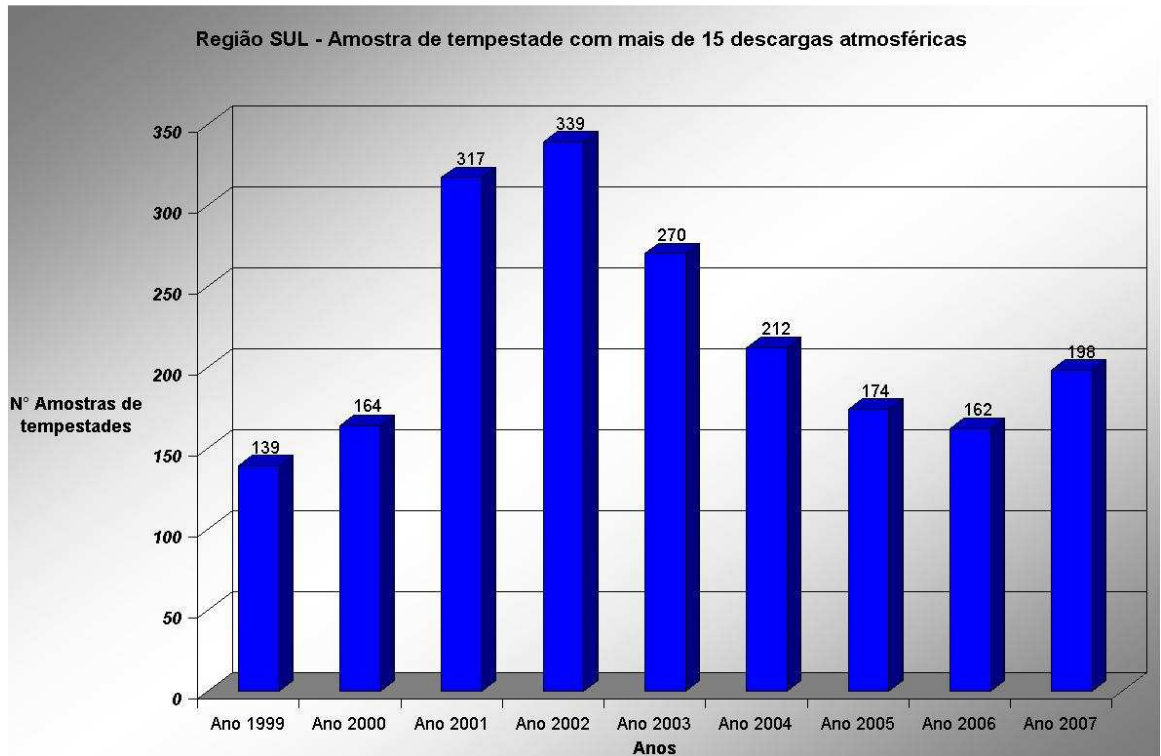


Figura 6

O gráfico a seguir indica a quantidade de amostra de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas para a região sul com o acumulado em cada ano de estudo.



*Figura 7*

Foram criados mapas temáticos da região sul de forma mensal para cada ano de estudo e para amostras de tempestades que apresentam mais de cinco, dez ou quinze descargas atmosféricas. Assim como também foram criados gráficos análogos aos da figura 5, figura 6 e figura 7, mas de forma mensal para cada ano de estudo.

## 5.2 Região Sudeste

Os mapas temáticos abaixo são exemplos dos mapas criados pelo MapInfo para a região sudeste com cada grade tendo 50km<sup>2</sup>.

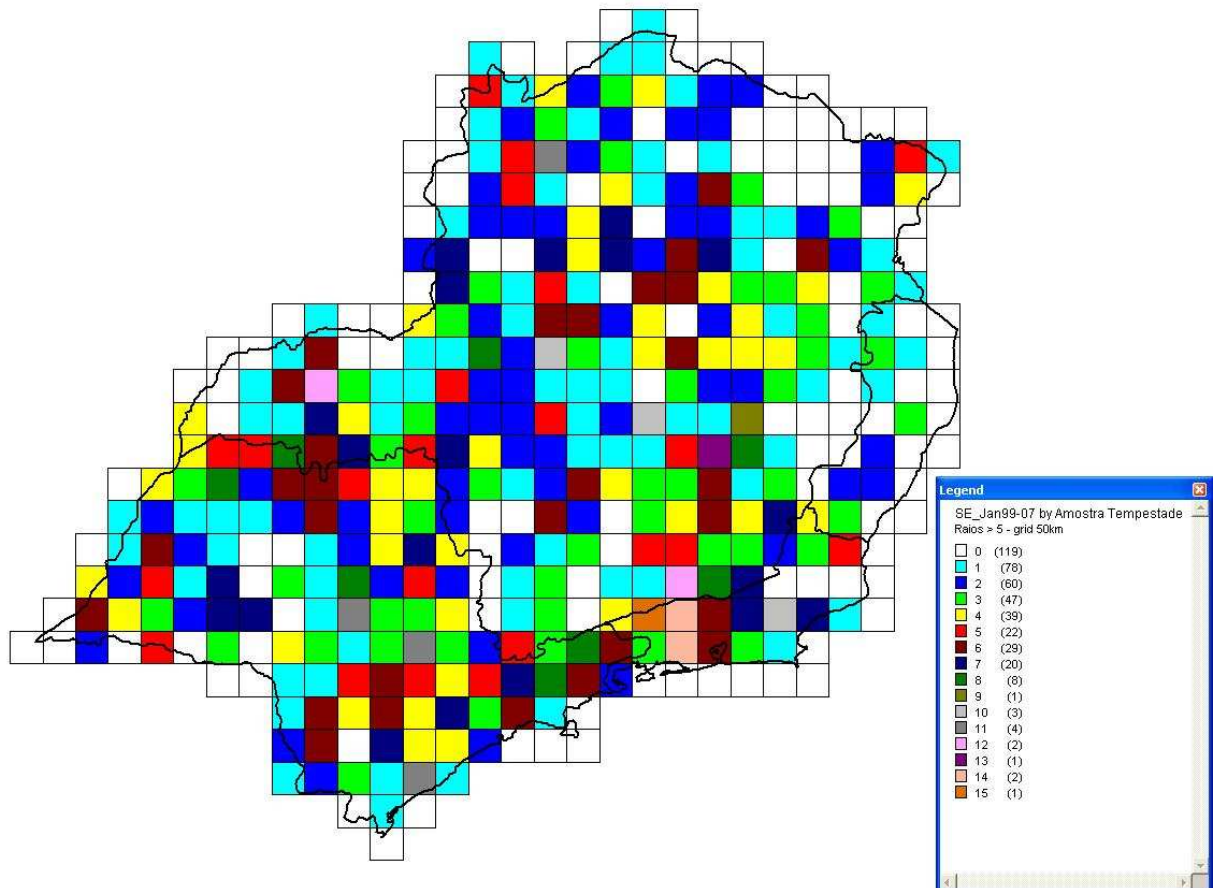
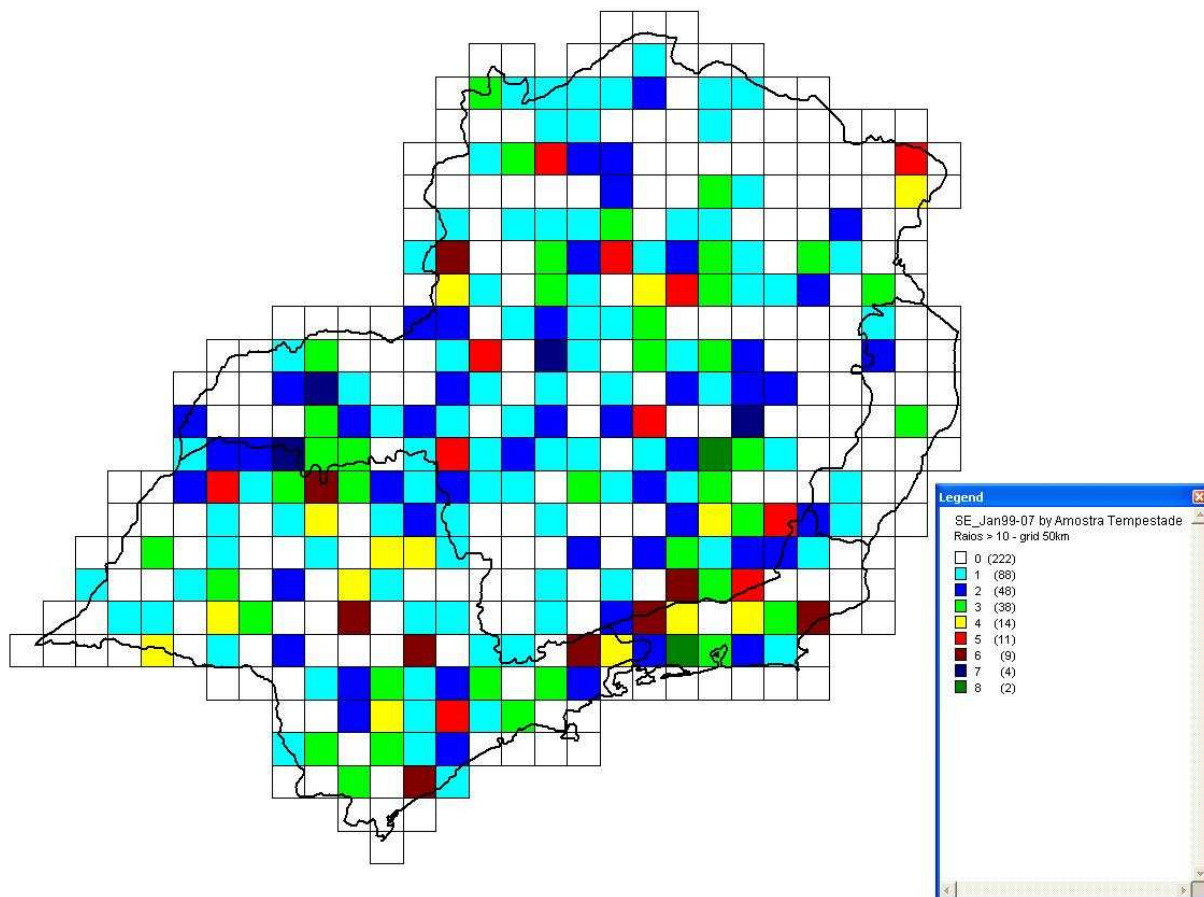


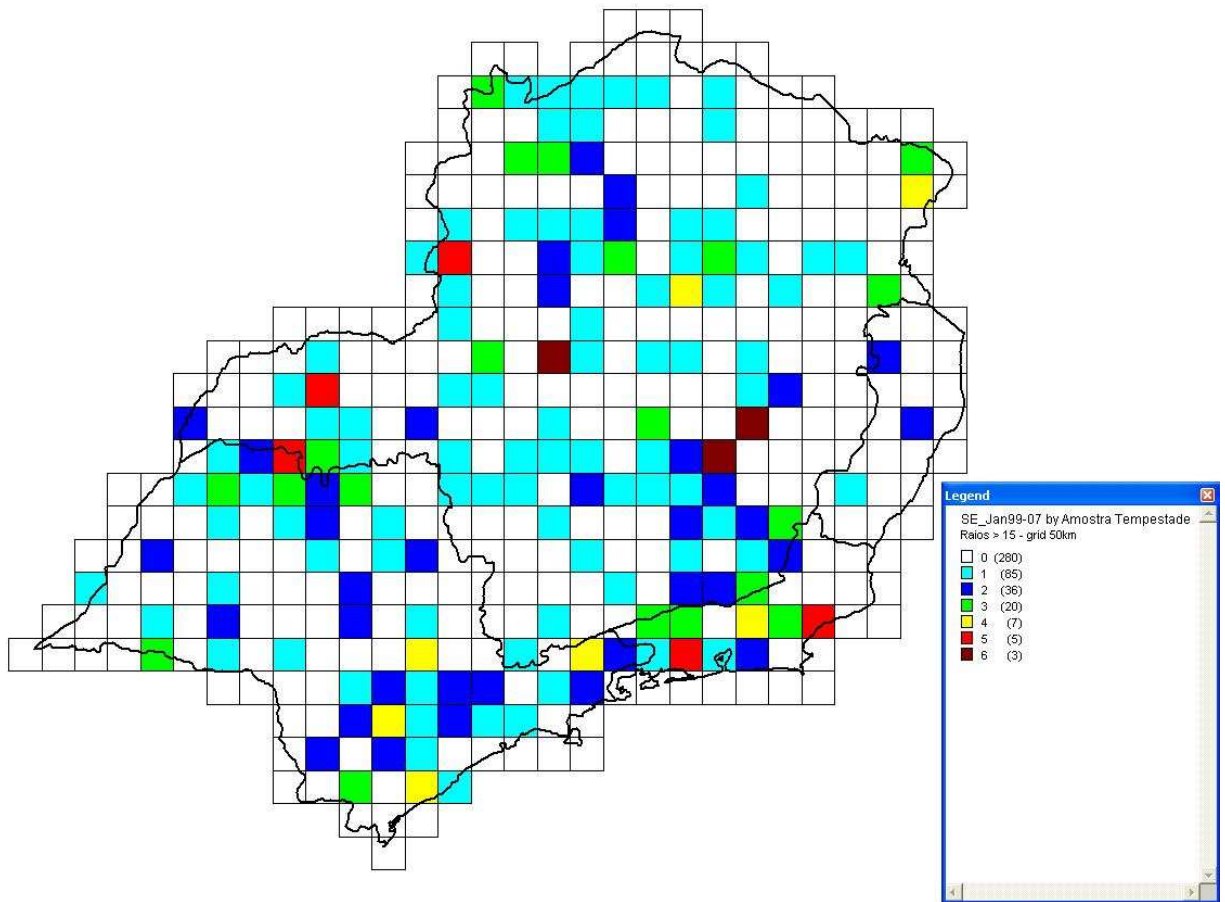
Figura 8

A figura 8 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas na região sudeste para o mês de janeiro, e engloba os anos de 1999 até 2007.



*Figura 9*

A figura 9 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas na região sudeste para o mês de janeiro, e engloba os anos de 1999 até 2007.



*Figura 10*

A figura 10 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas na região sudeste para o mês de janeiro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

O gráfico a seguir indica o número de amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas para a região sudeste com o acumulado de cada ano.



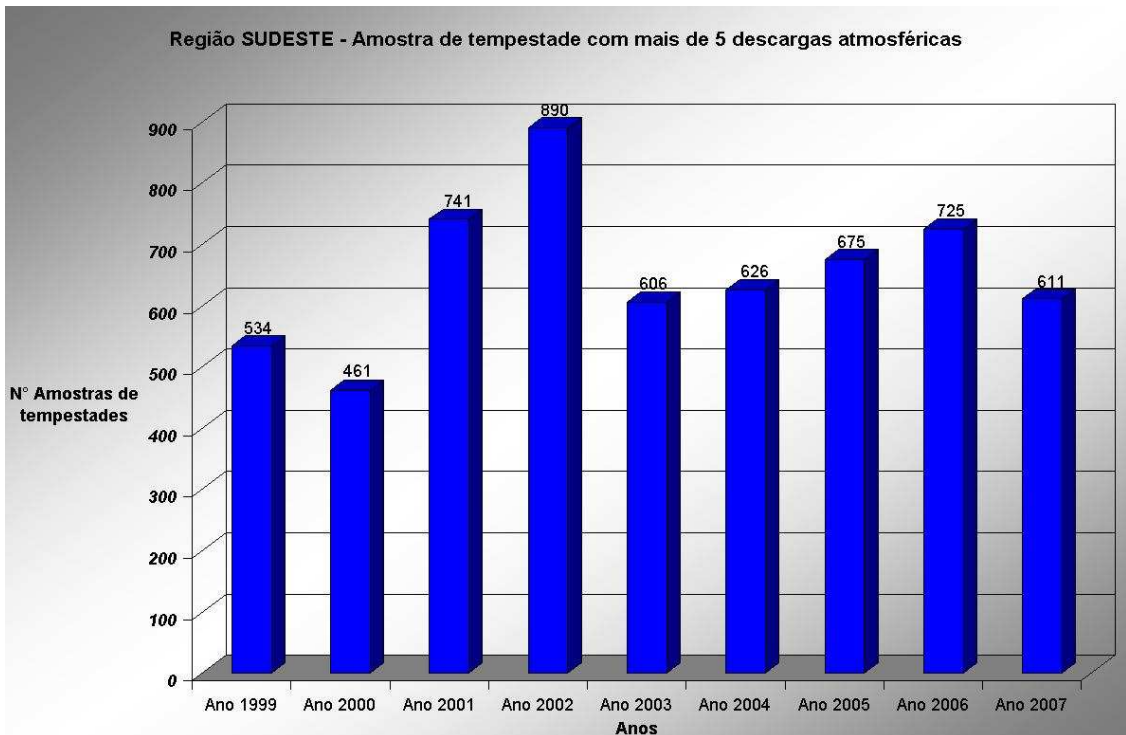


Figura 11

O gráfico a seguir indica o número de amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas para a região sudeste com o acumulado de cada ano.

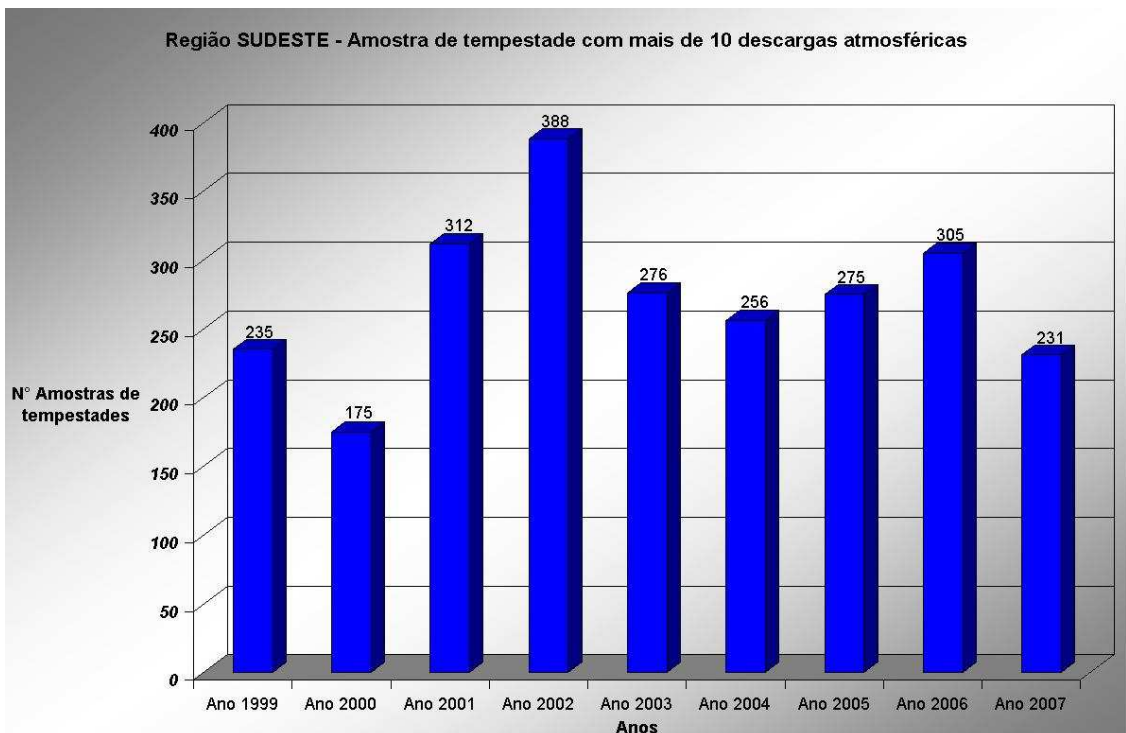
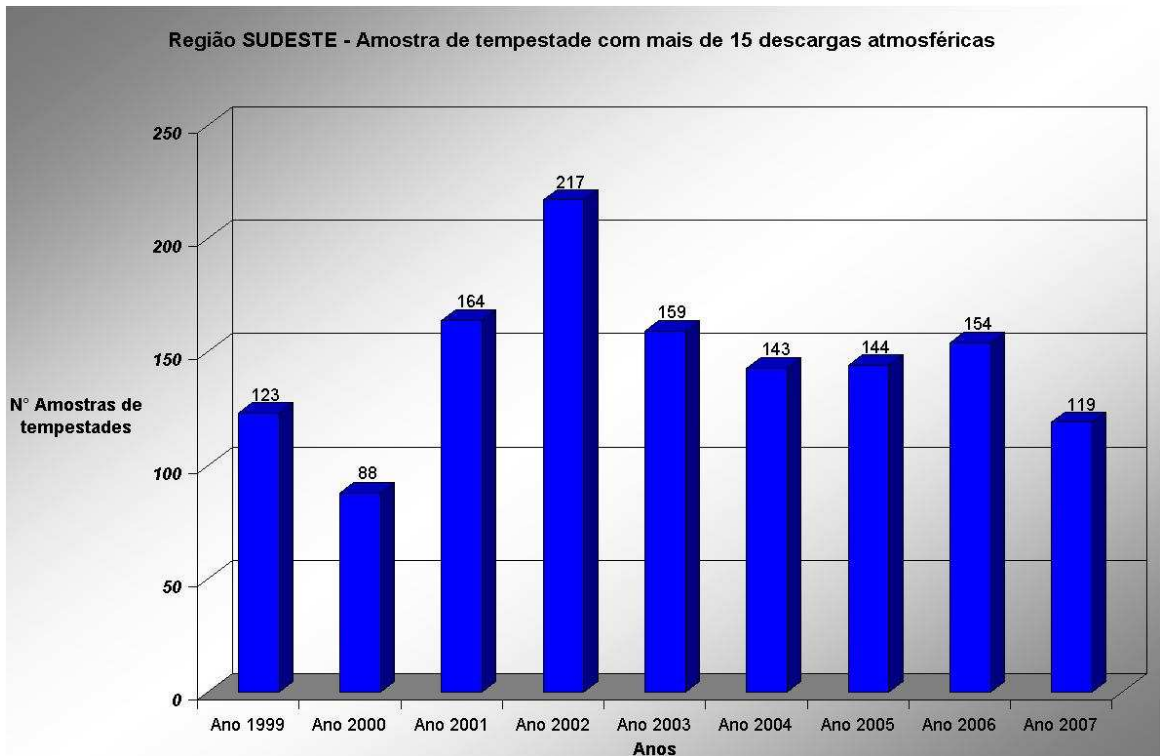


Figura 12

O gráfico a seguir indica o número de amostras de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas para a região sudeste com o acumulado de cada ano.



*Figura 13*

Foram criados mapas temáticos da região sudeste de forma mensal para cada ano de estudo e para amostras de tempestades que apresentam mais de cinco, dez ou quinze descargas atmosféricas. Assim como também foram criados gráficos análogos aos da figura 11, figura 12 e figura 13, mas de forma mensal para cada ano de estudo.

### 5.3 Região Centro – Oeste

Os mapas temáticos abaixo são exemplos dos mapas criados pelo MapInfo para a região centro - oeste com cada grade tendo 50km<sup>2</sup>.

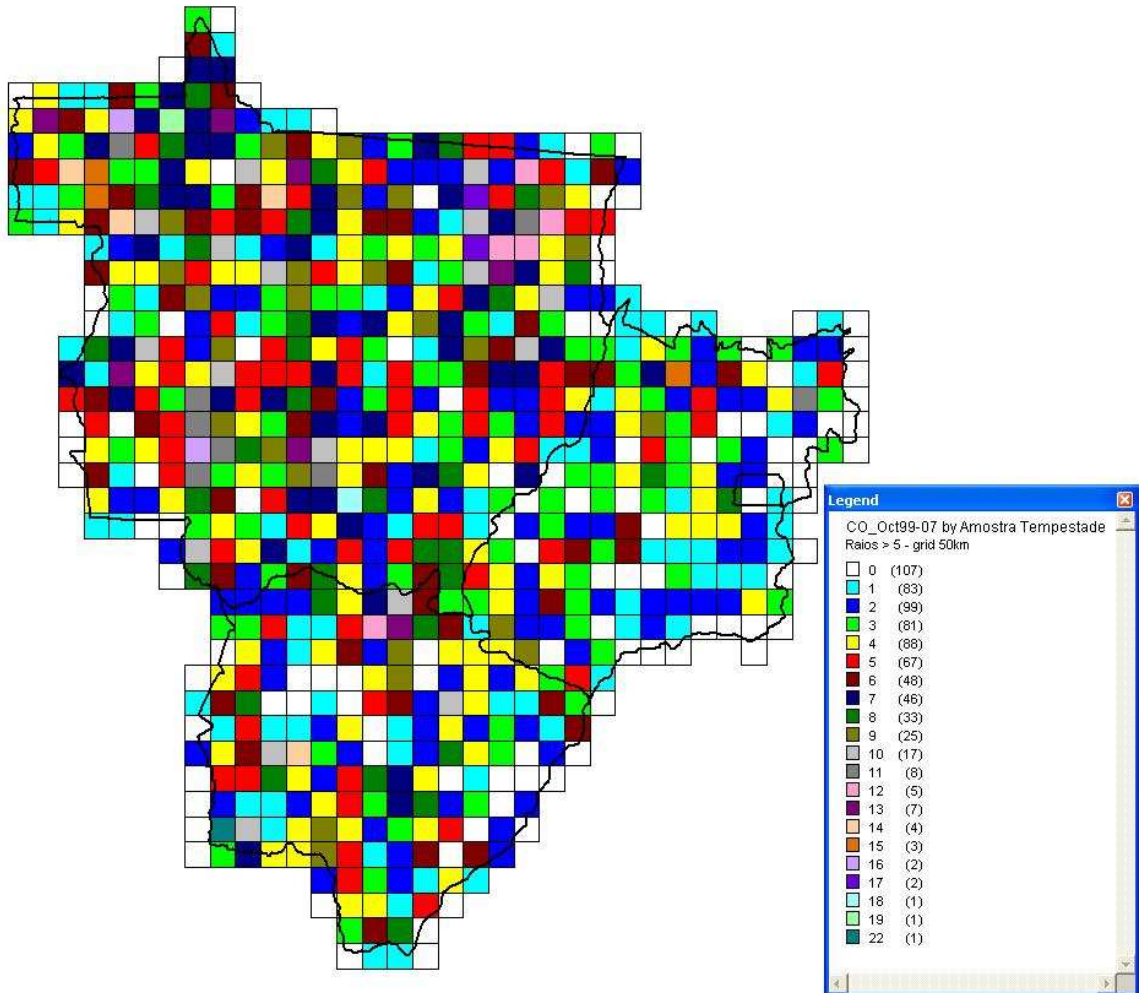
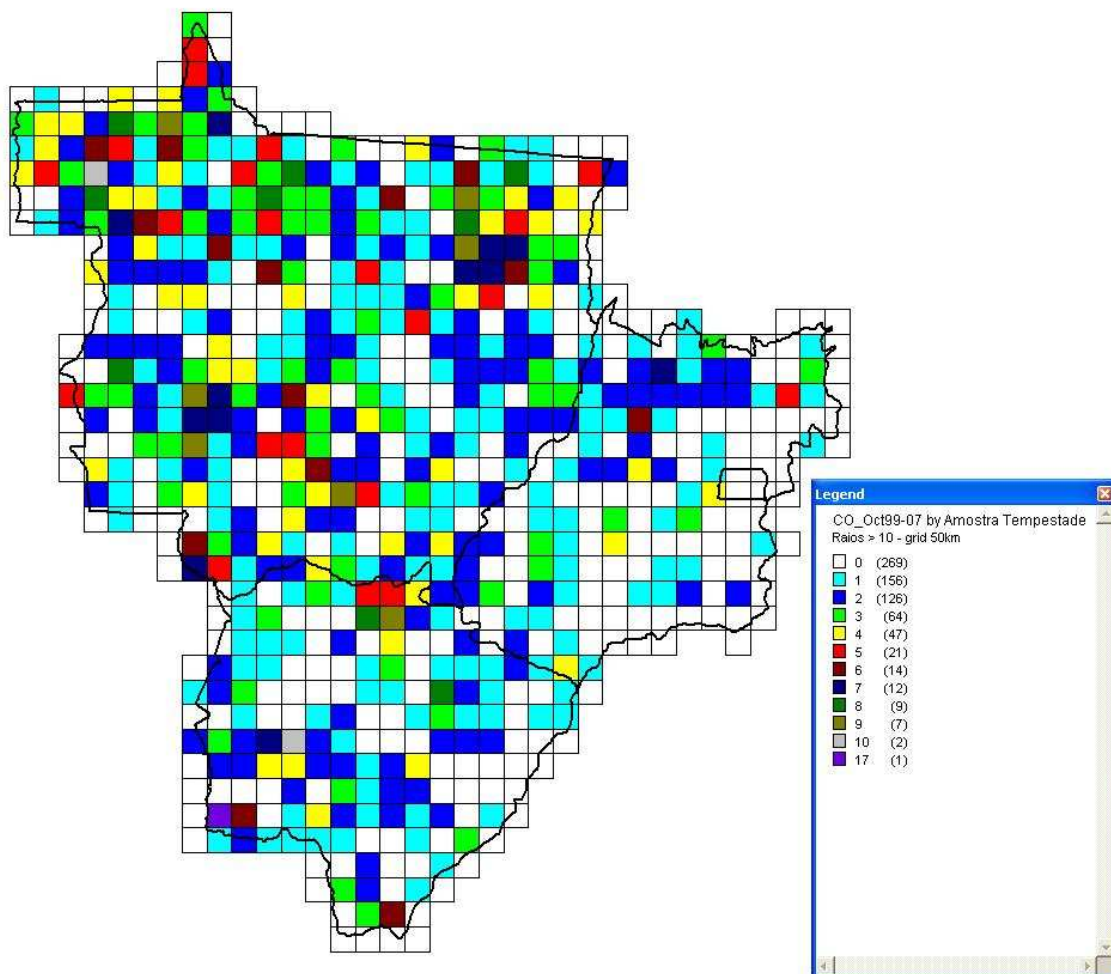


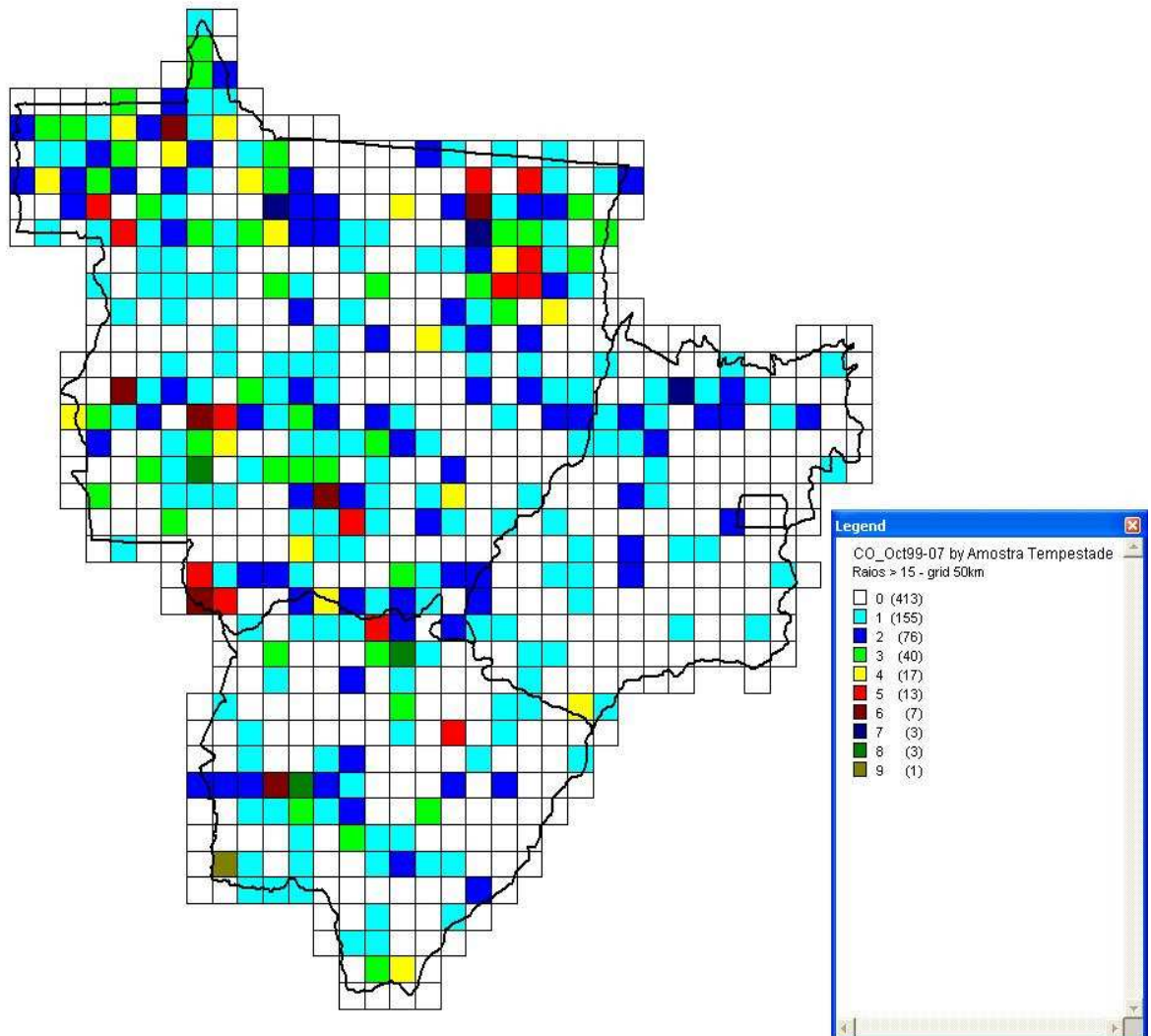
Figura 14

A figura 14 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas na região centro - oeste para o mês de outubro, e engloba os anos de 1999 até 2007.



*Figura 15*

A figura 15 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas na região centro - oeste para o mês de outubro, e engloba os anos de 1999 até 2007.



*Figura 16*

A figura 16 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas na região centro - oeste para o mês de outubro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

O gráfico a seguir indica o número de amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas para a região centro - oeste com o acumulado de cada ano.

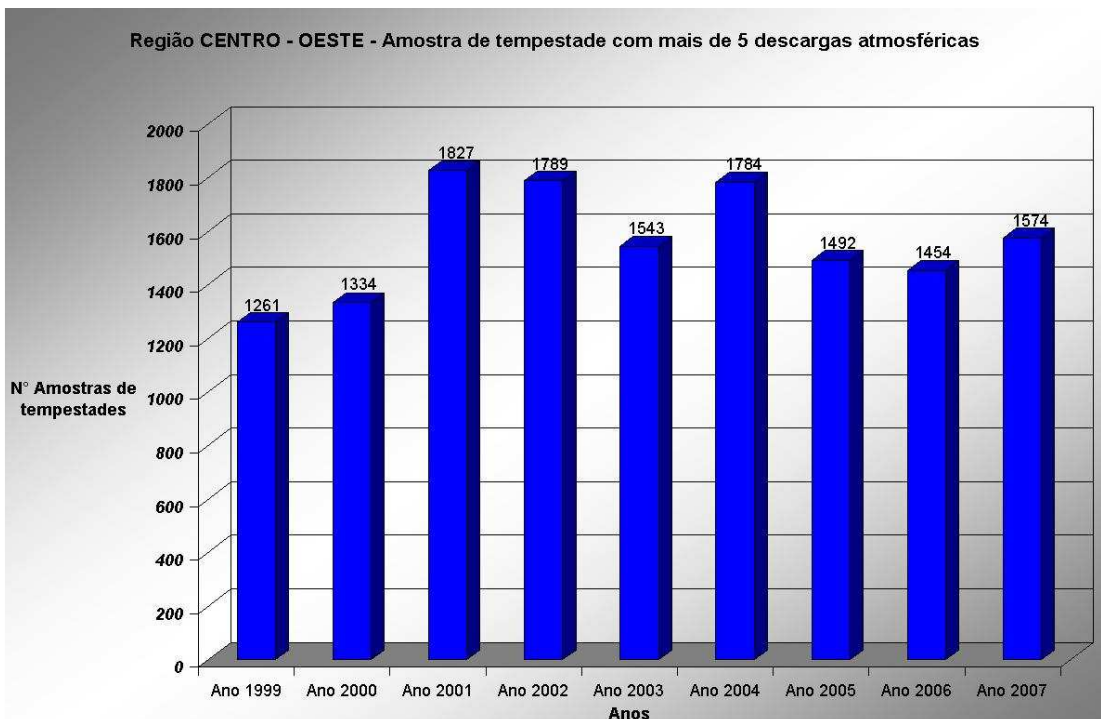


Figura 17

O gráfico a seguir mostra o número de amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas para a região centro - oeste com o total apresentado em cada ano de estudo.

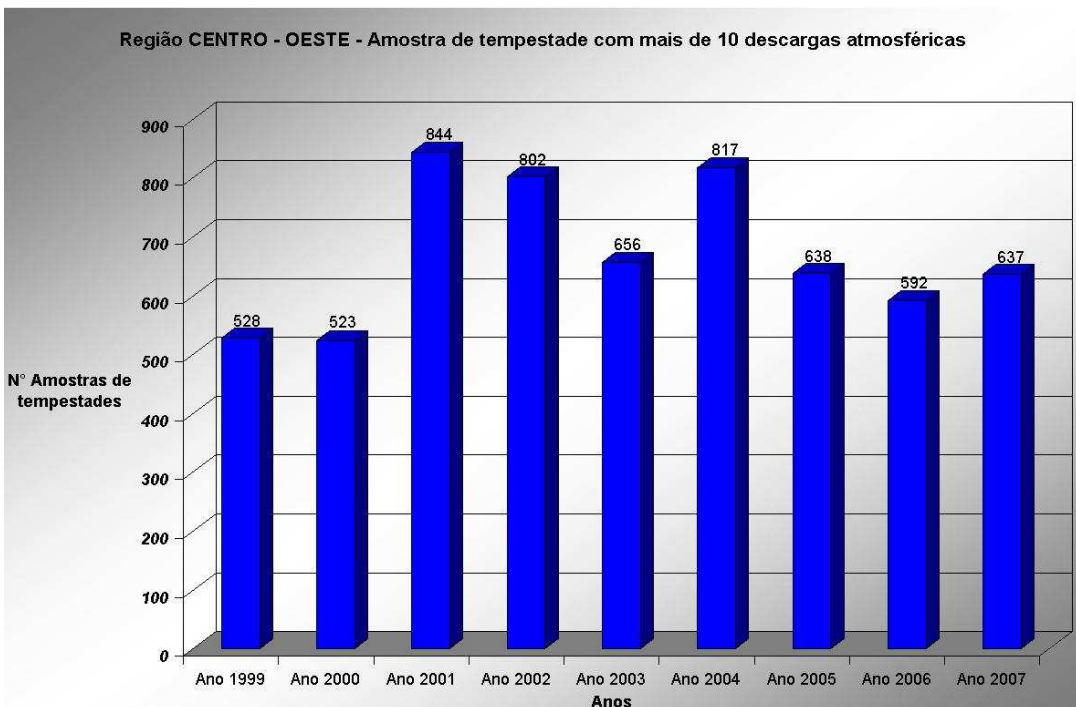
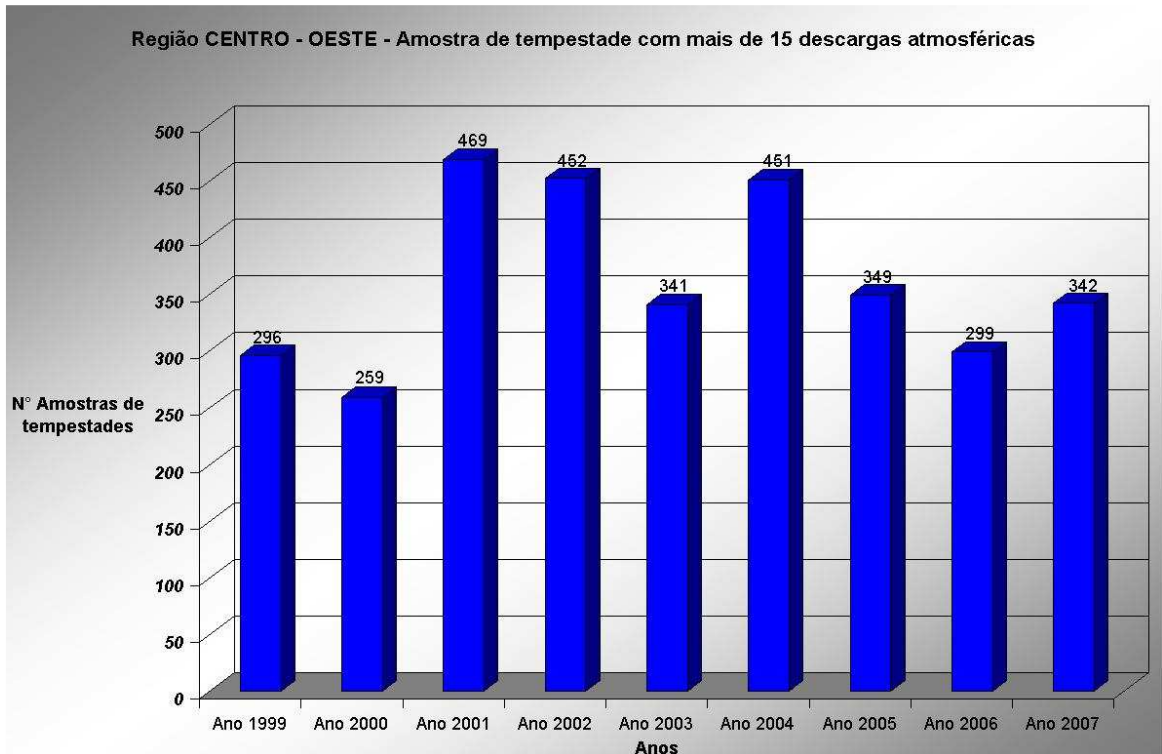


Figura 18

O gráfico a seguir indica a quantidade de amostra de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas para a região centro - oeste com o acumulado em cada ano de estudo.



*Figura 19*

Foram criados mapas temáticos da região centro - oeste de forma mensal para cada ano de estudo e para amostras de tempestades que apresentam mais de cinco, dez ou quinze descargas atmosféricas. Assim como também foram criados gráficos análogos aos da figura 17, figura 18 e figura 19, mas de forma mensal para cada ano de estudo.

## 5.4 Região Nordeste

Os mapas temáticos abaixo são exemplos dos mapas criados pelo MapInfo para a região nordeste com cada grade tendo 50km<sup>2</sup>.

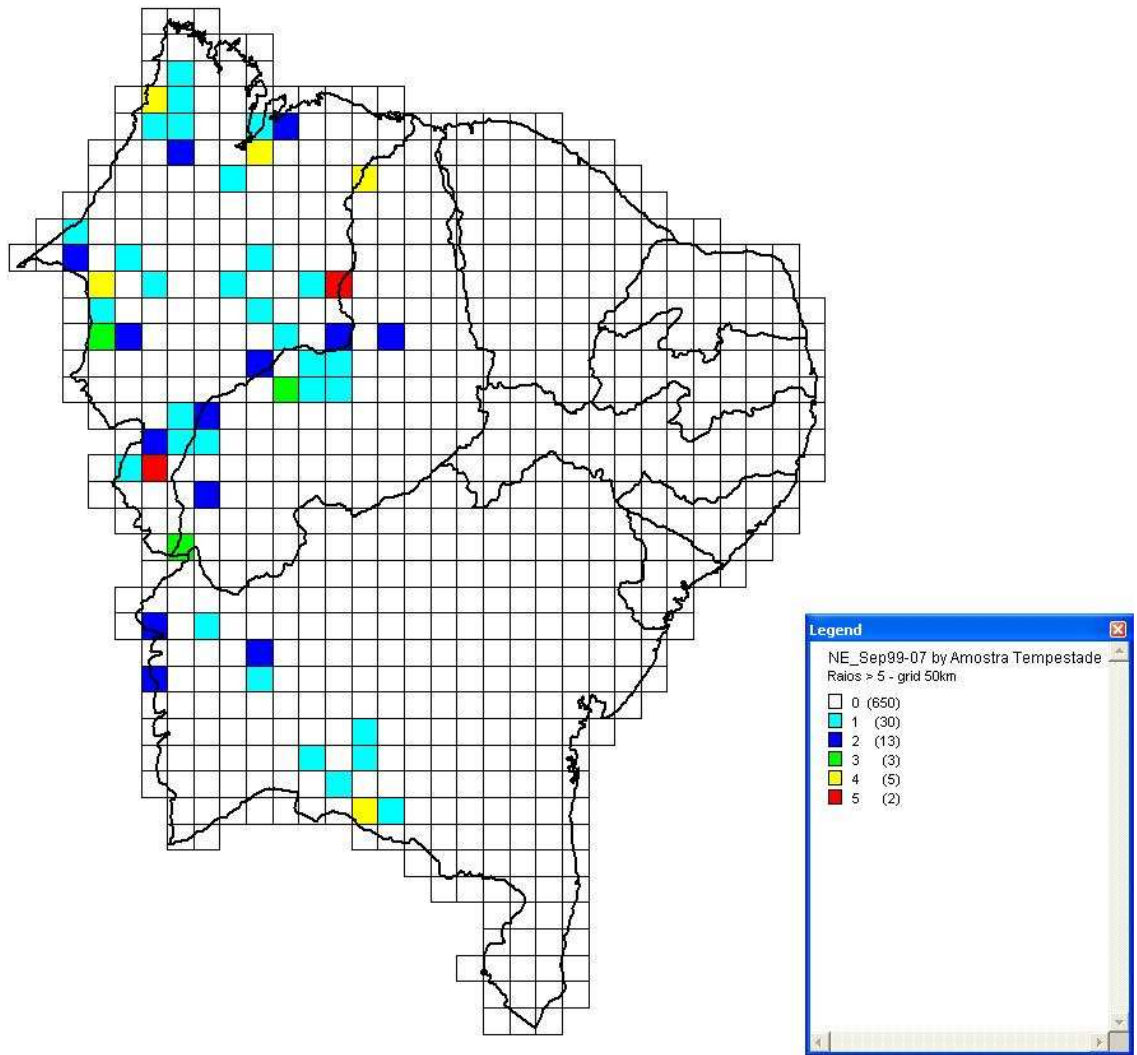
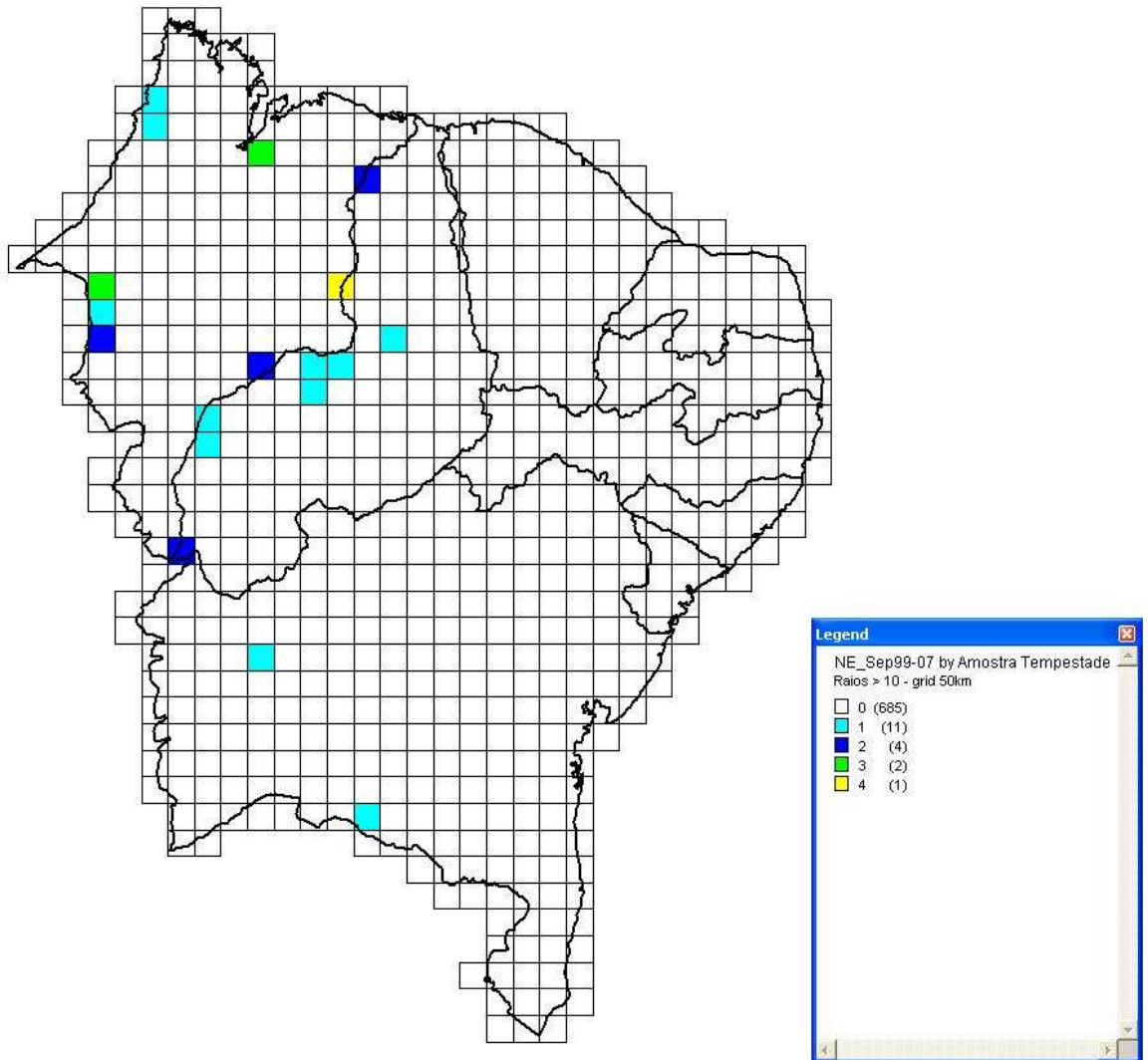


Figura 20

A figura 20 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas na região nordeste para o mês de setembro, e engloba os anos de 1999 até 2007.





*Figura 21*

A figura 21 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas na região nordeste para o mês de setembro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

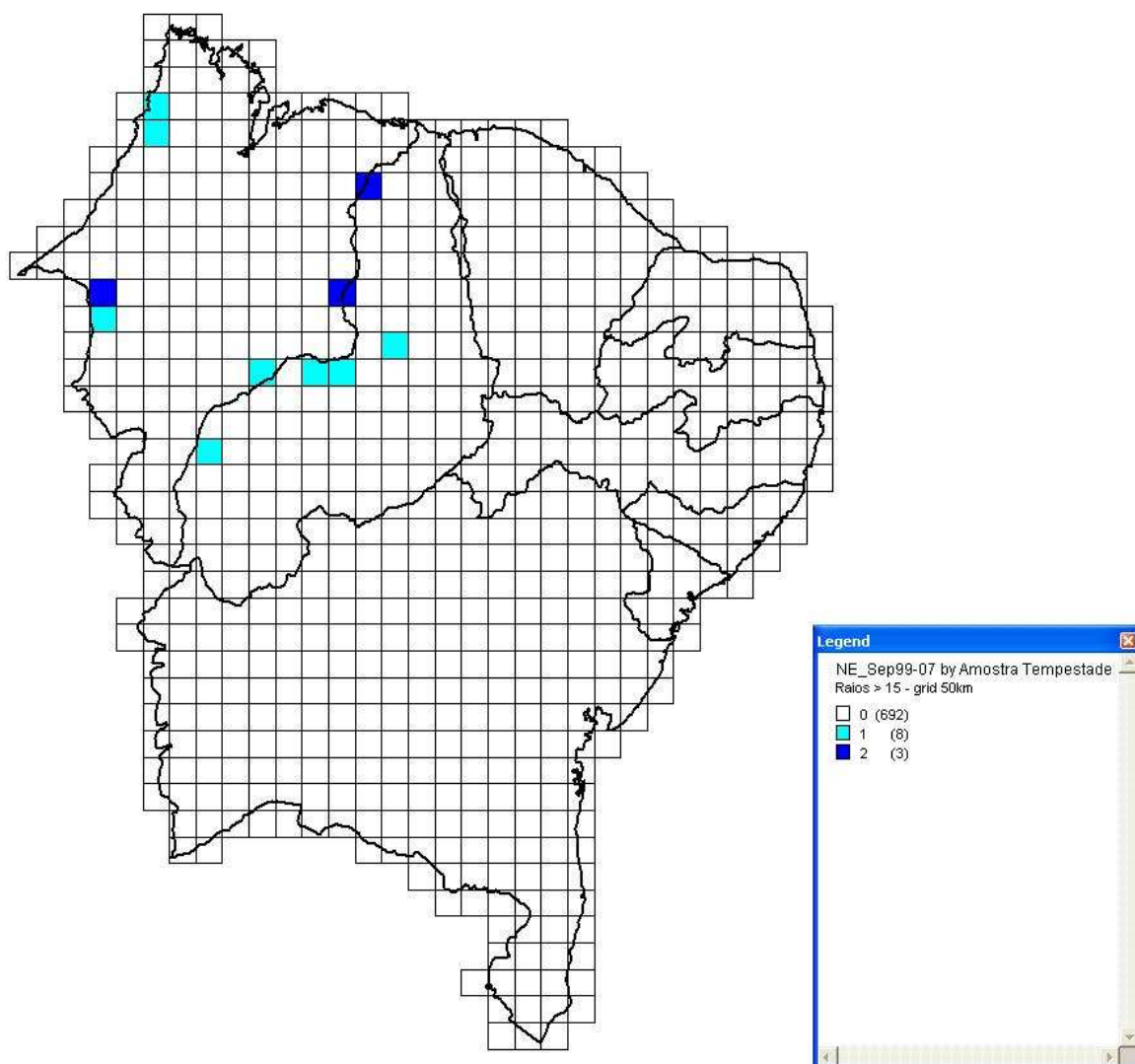


Figura 22

A figura 22 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas na região nordeste para o mês de setembro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

O gráfico a seguir indica o número de amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas para a região nordeste com o acumulado de cada ano.

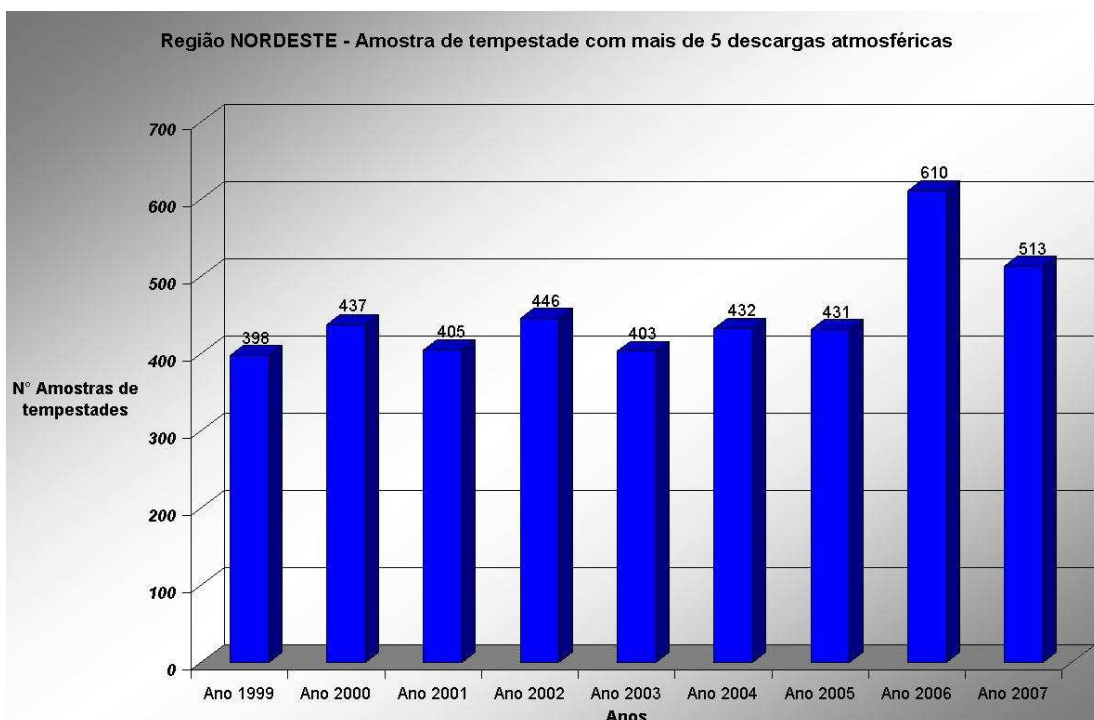


Figura 23

O gráfico a seguir mostra o número de amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas para a região nordeste com o total apresentado em cada ano de estudo.

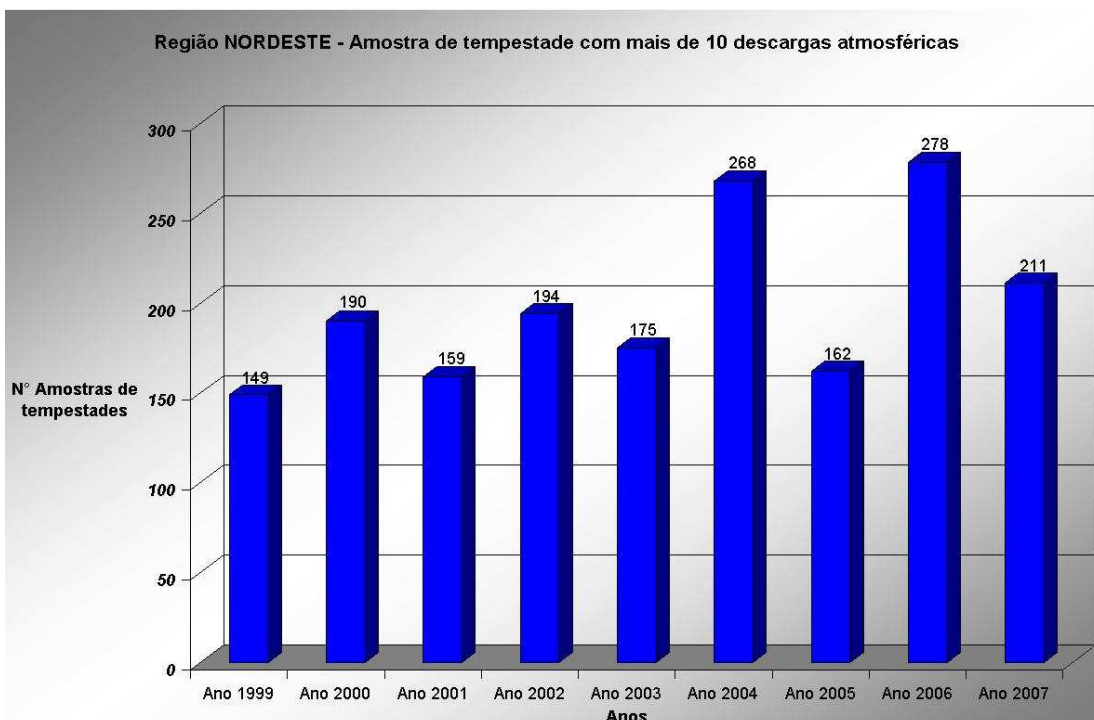


Figura 24

O gráfico a seguir indica a quantidade de amostra de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas para a região nordeste com o acumulado em cada ano de estudo.

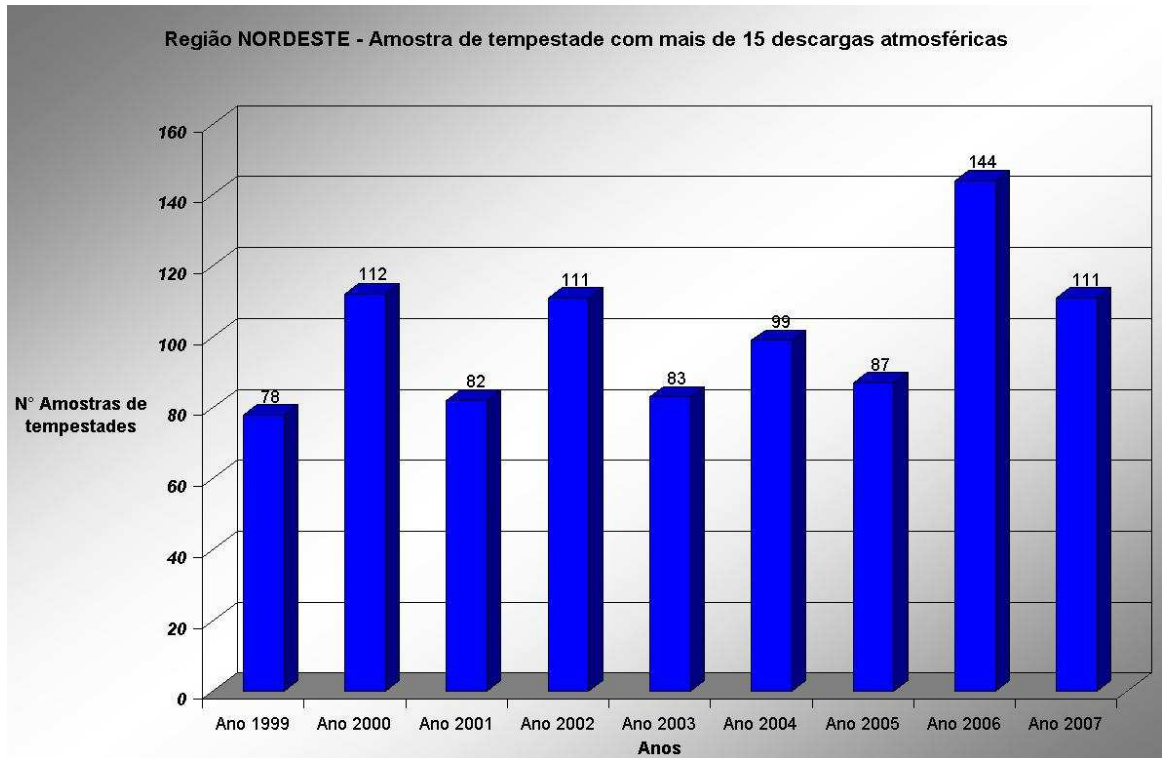


Figura 25

Foram criados mapas temáticos da região nordeste de forma mensal para cada ano de estudo e para amostras de tempestades que apresentam mais de cinco, dez ou quinze descargas atmosféricas. Assim como também foram criados gráficos análogos aos da figura 23, figura 24 e figura 25, mas de forma mensal para cada ano de estudo.

## 5.5 Região Norte

Os mapas temáticos abaixo são exemplos dos mapas criados pelo MapInfo para a região norte com cada grade tendo 50km<sup>2</sup>.

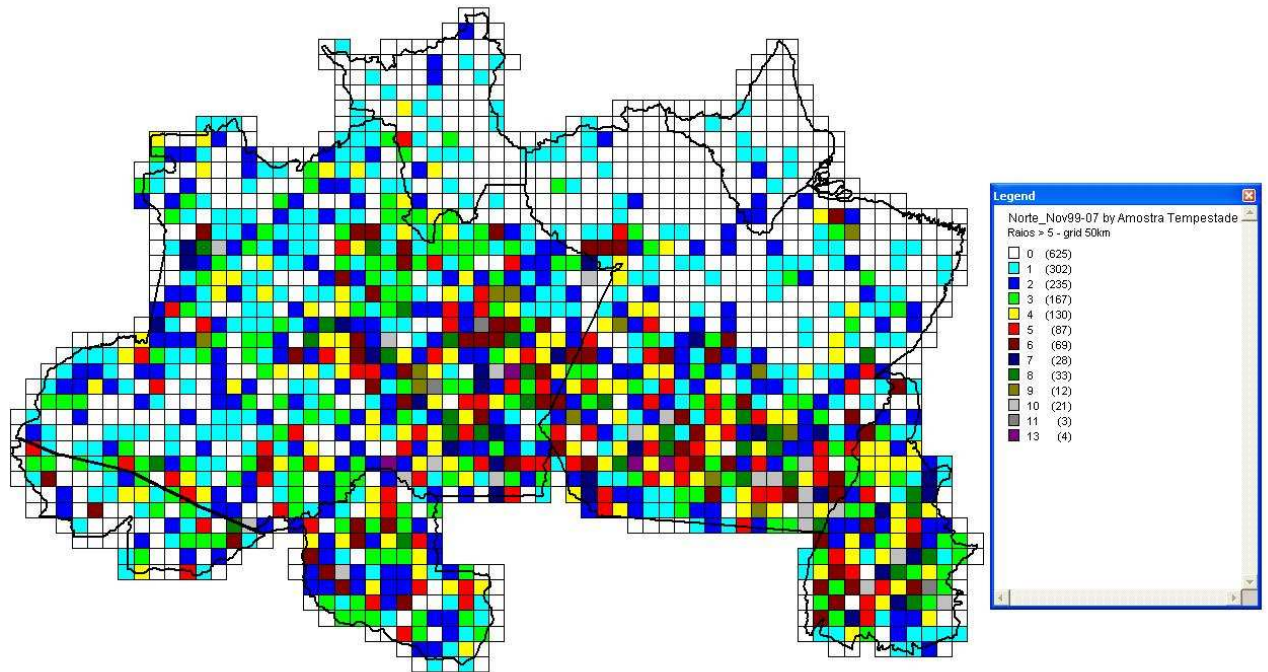


Figura 26

A figura 26 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas na região norte para o mês de novembro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

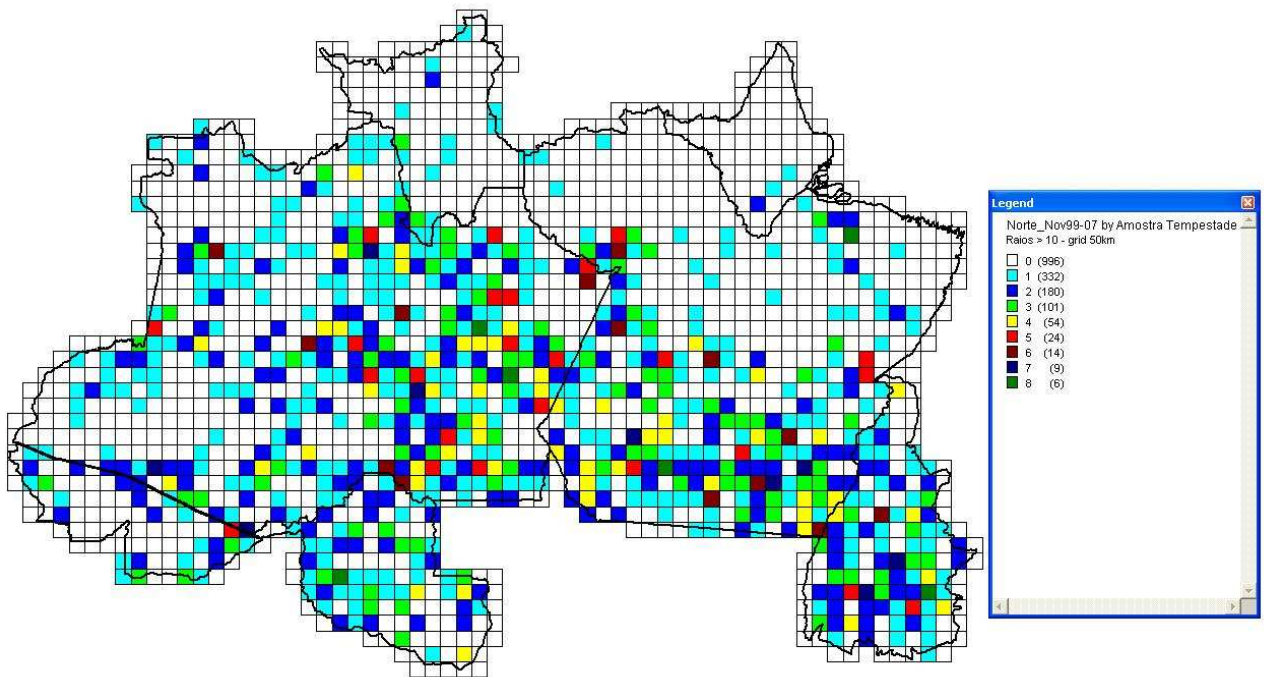


Figura 27

A figura 27 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas na região norte para o mês de novembro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

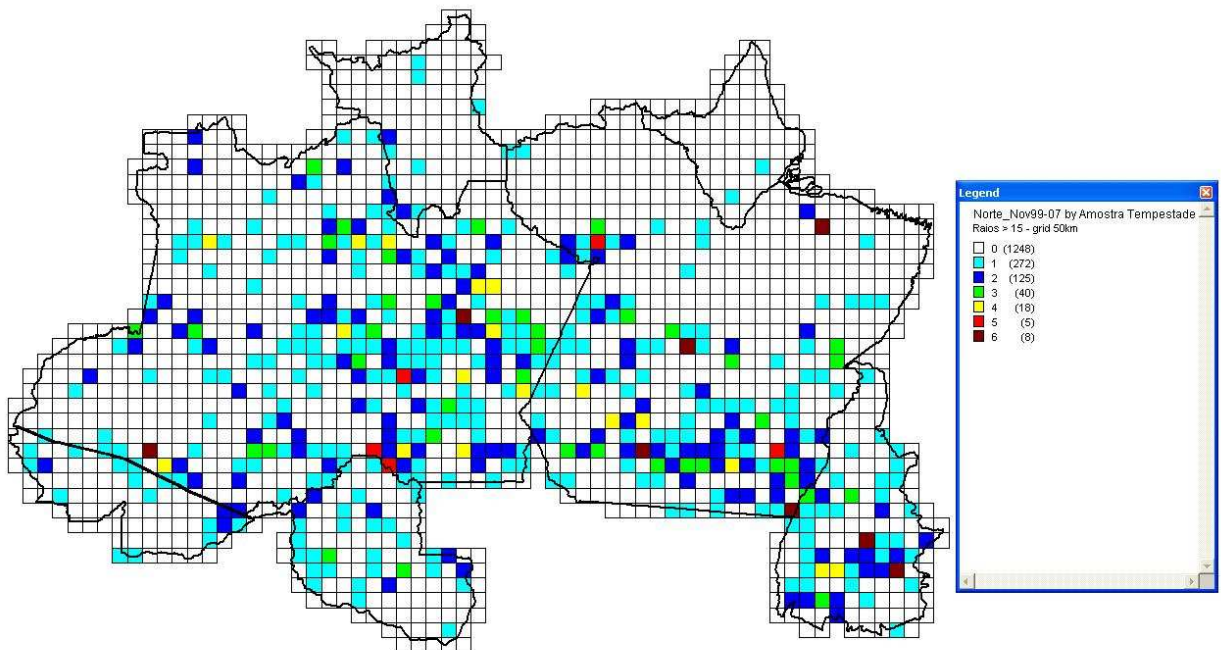


Figura 28

A figura 28 mostra a distribuição das amostras de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas na região norte para o mês de novembro, e engloba os anos de 1999 até 2007.

O gráfico a seguir indica o número de amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas para a região norte com o acumulado de cada ano.

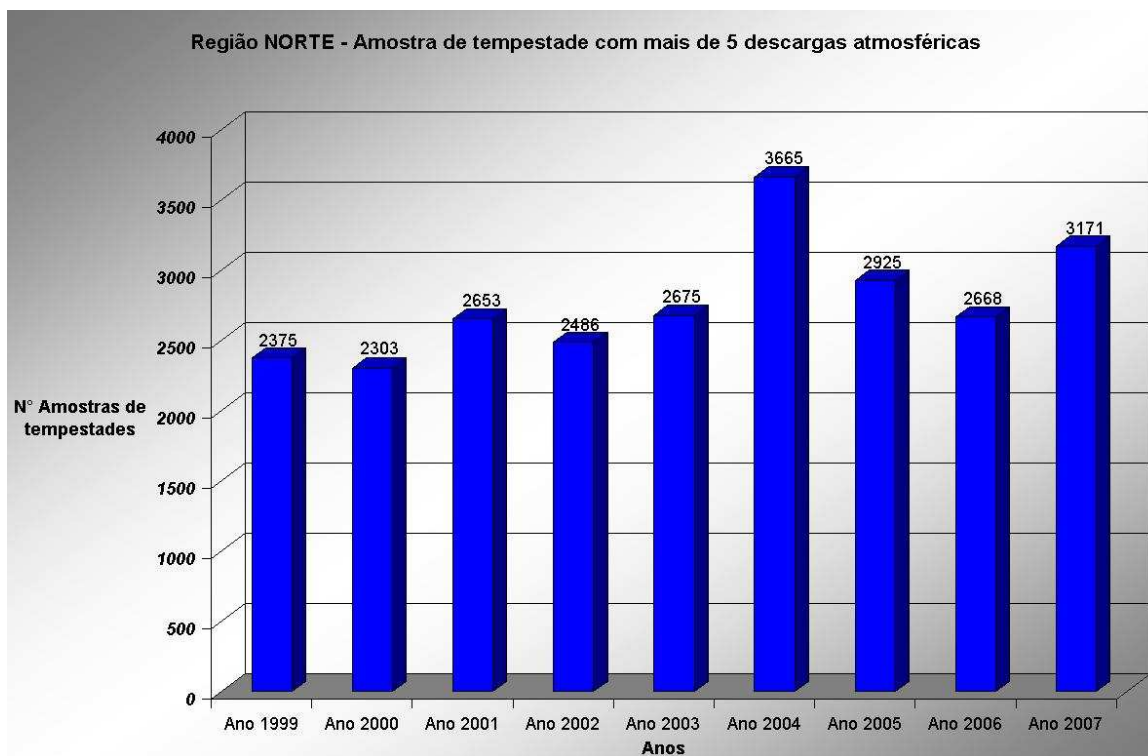
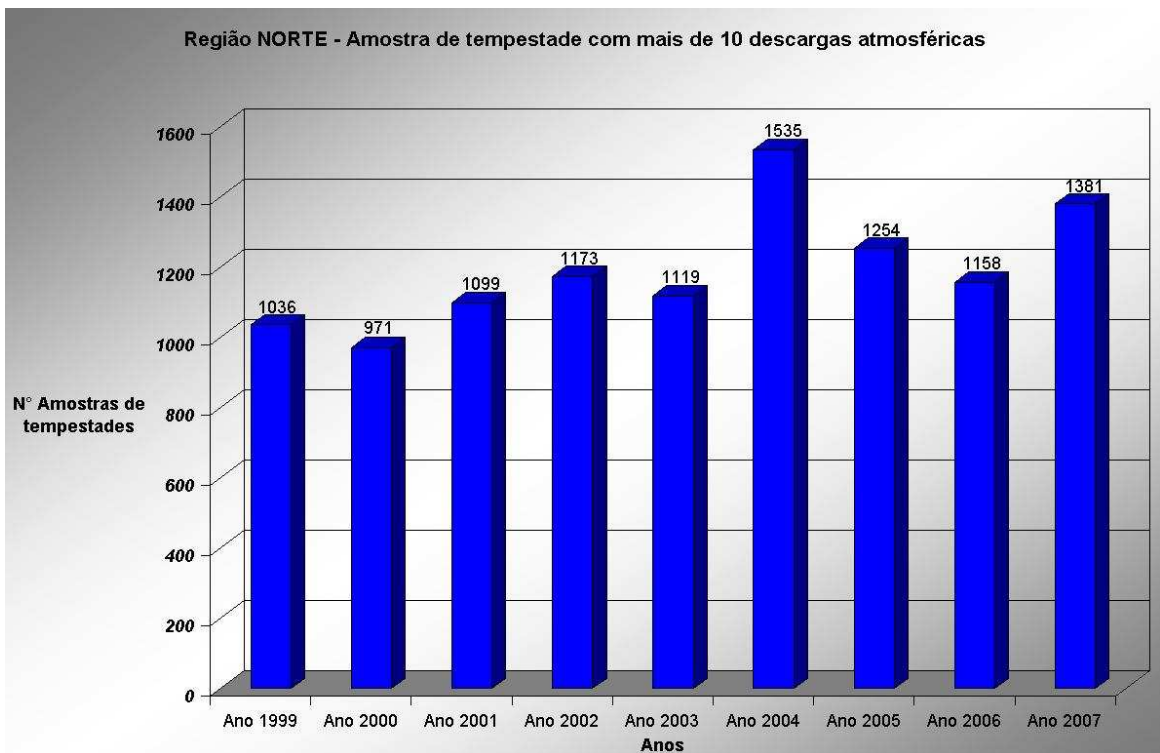


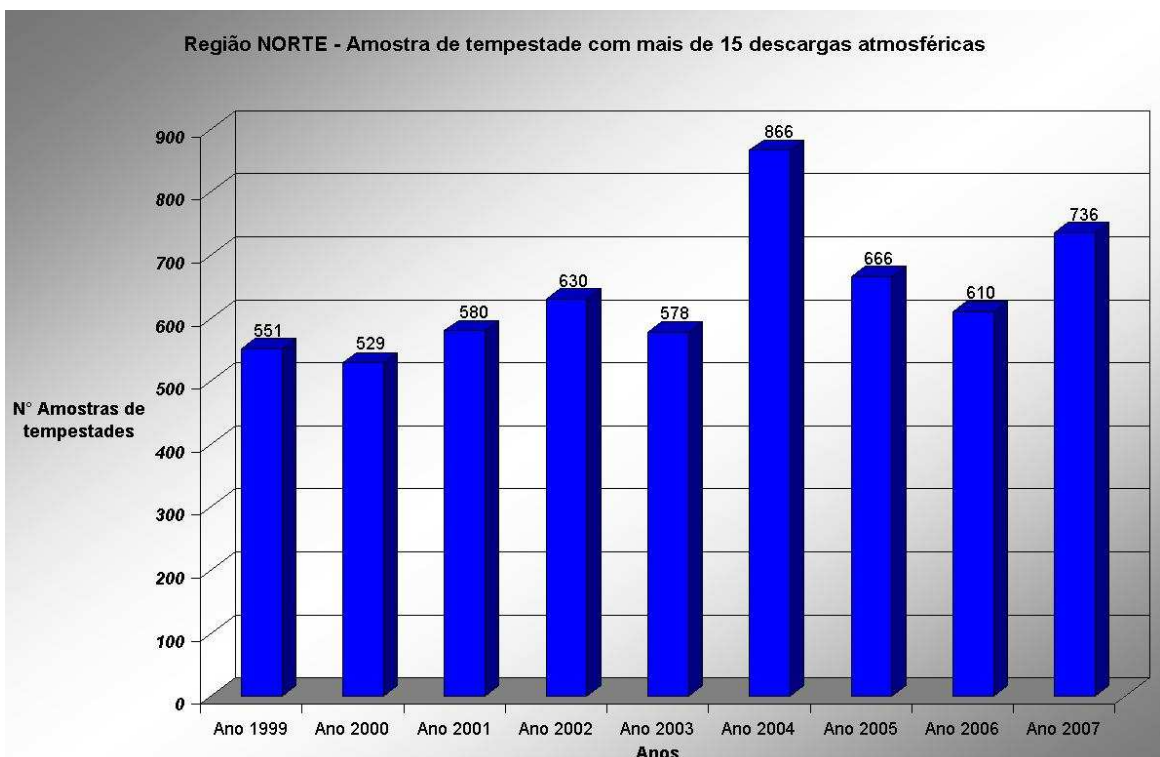
Figura 29

O gráfico a seguir mostra o número de amostras de tempestades com mais de 10 descargas atmosféricas para a região norte com o total apresentado em cada ano de estudo.



*Figura 30*

O gráfico a seguir indica a quantidade de amostra de tempestades com mais de 15 descargas atmosféricas para a região norte com o acumulado em cada ano de estudo.



*Figura 31*



Foram criados mapas temáticos da região norte de forma mensal para cada ano de estudo e para amostras de tempestades que apresentam mais de cinco, dez ou quinze descargas atmosféricas. Assim como também foram criados gráficos análogos aos da figura 29, figura 30 e figura 31, mas de forma mensal para cada ano de estudo.

## **6. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste tópico é feita a análise dos resultados obtidos.

### **6.1 Região Sul**

Observando os gráficos, o período em que ocorre a maior incidência de amostras de tempestades, 1352 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, na região sul foi no ano 2002, como visto na figura 5. Pelos mapas temáticos, a grade de 50km<sup>2</sup> que apresentou maior incidência de amostras de tempestades foi no mês de setembro, 22 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, durante todo período de estudo.

Para amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, a maior incidência de amostras ocorreu no ano de 2002 com 587 amostras e 339 amostras, respectivamente.

As grades de 50km<sup>2</sup> apresentadas nos mapas temáticos das amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, indicaram maior incidência no mês de setembro com 14 amostras, outubro e setembro com 9 amostras, em cada mês, durante todo período de estudo, respectivamente.

### **6.2 Região Sudeste**

Observando os gráficos, o período em que ocorre a maior incidência de amostras de tempestades, 890 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, na região sudeste foi no ano 2002, como visto na figura 11. Pelos mapas temáticos, a grade de 50km<sup>2</sup> que apresentou maior incidência de amostras de tempestades foi no mês de fevereiro, 21 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, durante todo período de estudo.

Para amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, a maior incidência de amostras ocorreu no ano de 2002 com 338 amostras e 217 amostras, respectivamente.

As grades de 50km<sup>2</sup> apresentadas nos mapas temáticos das amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, indicaram maior incidência no mês de fevereiro com 15 amostras e 13 amostras, durante todo período de estudo, respectivamente.

### **6.3 Região Centro – Oeste**

Observando os gráficos, o período em que ocorre a maior incidência de amostras de tempestades, 1827 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, na região centro - oeste foi no ano 2001, como visto na figura 17. Pelos mapas temáticos, a

grade de 50km<sup>2</sup> que apresentou maior incidência de amostras de tempestades foi no mês de outubro, 22 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, durante todo período de estudo.

Para amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, a maior incidência de amostras ocorreu no ano de 2001 com 844 amostras e 469 amostras, respectivamente.

As grades de 50km<sup>2</sup>, apresentadas nos mapas temáticos, indicaram maior incidência no mês de outubro com 17 amostras e no mês de outubro e dezembro com 9 amostras, em cada mês, durante todo período de estudo para amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, respectivamente.

#### **6.4 Região Nordeste**

Observando os gráficos, o período em que ocorre a maior incidência de amostras de tempestades, 610 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, na região nordeste foi no ano 2006, como visto na figura 23. Pelos mapas temáticos, a grade de 50km<sup>2</sup> que apresentou maior incidência de amostras de tempestades foi no mês de março, 14 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, durante todo período de estudo.

Para amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, a maior incidência de amostras ocorreu no ano de 2006 com 278 amostras e 144 amostras, respectivamente.

As grades de 50km<sup>2</sup> apresentadas nos mapas temáticos das amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, indicaram maior incidência no mês de março com 9 amostras e no mês de fevereiro com 7 amostras, durante todo período de estudo, respectivamente.

#### **6.5 Região Norte**

Observando os gráficos, o período em que ocorre a maior incidência de amostras de tempestades, 3665 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, na região norte foi no ano 2004, como visto na figura 29. Pelos mapas temáticos, a grade de 50km<sup>2</sup> que apresentou maior incidência de amostras de tempestades foi no mês de outubro, 24 amostras de tempestades com mais de 5 descargas atmosféricas, durante todo período de estudo.

Para amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, a maior incidência de amostras ocorreu no ano de 2004 com 1535 amostras e 866 amostras, respectivamente.

As grades de 50km<sup>2</sup> apresentadas nos mapas temáticos das amostras de tempestades com mais de dez e quinze descargas atmosféricas, indicaram maior incidência no mês de outubro com 14 amostras e 12 amostras, durante todo período de estudo, respectivamente.

### **7. CONCLUSÃO**

Mapas temáticos e gráficos foram criados para os anos de 1999 a 2007 para a incidência de amostras de tempestades com mais de cinco, dez e quinze descargas

atmosféricas, para as cinco diferentes regiões do Brasil. Foram feitos cerca de 1260 mapas temáticos e cerca de 315 gráficos. Com a análise dos dados, os anos de 2001, 2002, 2004 e 2006 apresentaram a maior ocorrência de amostras de tempestades. Os resultados podem estar associados a fenômenos como o El Niño, La Niña, aquecimento do oceano atlântico e atividade solar.

Neste período da bolsa, o maior objetivo foi obter os mapas temáticos e os gráficos. O próximo passo é analisar em quais períodos ocorreram os fenômenos citados e identificar a influência de cada um deles na ocorrência de descargas atmosféricas no Brasil. Este estudo apresenta um caráter estratégico para o país nas próximas décadas, devido às suas conseqüências em termos de vida e prejuízos.

## **8. BIBLIOGRAFIA**

Tempestade e relâmpagos no Brasil, O. Pinto Jr. E I.R.C.A. Pinto  
<http://thunder.msfc.nasa.gov./lis/>

## **9. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte dado para o desenvolvimento da pesquisa através da bolsa de iniciação científica.