



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

TORNADO OCORRIDO EM MUITOS CAPÕES – RS
NO DIA 29/08/2005

*Isabela Pena Viana de Oliveira Marcelino
Emerson Vieira Marcelino
Tania Maria Sausen*

INPE
Santa Maria
2007

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	03
1 – INTRODUÇÃO.....	05
2 – TORNADOS: CONCEITOS BÁSICOS.....	07
2.1 Características atmosféricas dos tornados.....	08
2.2 Diferença entre tornado e furacão.....	09
2.3 Diferença entre tornado e vendaval.....	10
2.4 Escala para medir a intensidade dos tornados.....	11
3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	12
3.1 Processamento digital das imagens TM Landsat 5.....	13
4 – ANÁLISE DAS CAUSAS ATMOSFÉRICAS.....	15
5 – ANÁLISE DAS CONSEQÜÊNCIAS DO TORNADO.....	17
5.1 Análise dos danos do tornado com dados de campo e imprensa.....	17
5.2 Análise do rastro do tornado com imagens TM Landsat – 5.....	24
6 – MEDIDAS PREVENTIVAS EM OCORRÊNCIAS DE TORNADOS.....	31
6.1 Antes da ocorrência de tornados.....	31
6.2 Durante a ocorrência de tornados.....	32
6.3 Depois da ocorrência de tornados.....	33
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

LISTA DE FIGURAS

1	- Formação de um tornado na base de uma nuvem cumulonimbus.....	07
2	- Tornado ocorrido em Kansas (EUA).....	07
3	- Tipo de nuvem e circulação que formam o tornado.....	08
4	Tornado e seus efeitos.....	09
5	- Imagens de um tornado no EUA (a) e do Furacão Catarina (b).....	10
6	- Representação do tipo de destruição de um vendaval e de um tornado.....	11
7	- Imagem do satélite GOES-12 do dia 30/08/05 mostrando a frente fria que gerou o tornado de Muitos Capões (RS).....	15
8	- Em (a) precipitação estimada por satélite gerado através do modelo hidroestimador do dia 29/08/2005 as 21:00h e em (b) número de raios em uma área de 100km ² , acumulado em um período de 30 minutos.....	16
9	- Trajetória do tornado ocorrido em Muitos Capões.....	17
10	- Classificação da extensão do rastro do tornado.....	18
11	- Classificação da largura do rastro do tornado.....	19
12	- Fotos da destruição produzida pelo tornado F3 na sede do Município de Muitos Capões ocorrido no dia 29/08/2005.....	21
13	- Danos em edificações na área rural do município.....	22
14	- Exemplos de danos ambientais e projéteis lançados pelo tornado.....	23
15	- Diversos jornais fizeram a cobertura do fenômeno, demonstrando sua importância no contexto regional.....	24
16	- Comportamento espectral de diferentes alvos em cada banda do satélite Landsat.....	25
17	- Composição 473 RGB com contraste negativo.....	26
18	- PC2 das bandas 2, 3, 5 e 7 das imagens Antes e Depois da ocorrência do tornado.....	27
19	- Método de subtração de bandas realizado com a banda 7 Antes e Depois da ocorrência do tornado.....	28
20	- Subtração da banda 7 coletadas Depois do tornado pela Antes.....	29
21	- Composição RGB com o resultado da subtração das bandas 5, 7 e 3.....	29
22	- Zoom aproximado da imagem subtração da banda 7.....	30

O presente relatório teve o apoio das seguintes instituições:



Instituto de Geociências – IG/UNICAMP



Grupo de Estudos de Desastres Naturais - GEDN/UFSC



Prefeitura Municipal de Muitos Capões – RS

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm-se observado um aumento na ocorrência de tornados no Brasil. Apesar de existirem relatos de tornados em todo o território nacional, a Região Sul mostra-se muito favorável a ocorrência desse fenômeno em virtude das condições atmosféricas propícias.

Vários trabalhos têm confirmado essa favorabilidade, por exemplo, Brooks et al. (2003), através de ensaio climatológico de três anos de dados, identificou que depois dos Estados Unidos a região do globo mais favorável a ocorrência de tempestades tornádicas é a Região Sul do Brasil. Nascimento (2005) também afirma que essa região, juntamente com o Estado do Mato Grosso do Sul, apresenta condições ideais para a ocorrência de tempestades severas capazes de formar tornados, granizos, vendavais e chuvas intensas. Em Santa Catarina, Marcelino (2003) analisou os diferentes padrões atmosféricos que geraram 23 tornados e trombas d'água no período de 1976 a 2000. A autora verificou que estes eventos estavam associados principalmente a passagem de frentes frias e a ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala na primavera e aos sistemas convectivos isolados no verão. Estes sistemas são frequentes no território catarinense como também nos demais estados da Região Sul.

O tornado é definido como uma violenta coluna de ar giratória, normalmente visualizada como uma nuvem em forma de funil, que se estende da base das nuvens que os originam (tipo cumulonimbus) até a superfície terrestre (Glickman, 2000). Quando esse fenômeno toca superfícies aquosas passa a ser denominado de tromba d'água (*water spout*).

Apesar de ser um fenômeno localizado, é extremamente violento, o que o torna, na circulação atmosférica, o mais intenso que existe. Devido ao seu elevado poder de destruição, medir a velocidade dos ventos de um tornado tem sido uma tarefa complicada, visto que a instrumentação clássica (anemômetro, barômetro, etc.) não resiste ao impacto dos fortes ventos. Atualmente, a instrumentação mais adequada para monitorar esses fenômenos são os sensores remotos, como o radar Doppler, que é o mais aceito e utilizado pela comunidade científica. Entretanto, são equipamentos caros, principalmente para a realidade brasileira.

Na ausência desses equipamentos, a melhor forma de estimar a intensidade dos tornados é através da avaliação de danos realizada em campo. Por exemplo, são analisados os efeitos dos ventos nas estruturas danificadas e destruídas para então compará-los a uma escala de intensidade de danos. Apesar de existirem várias escalas para a classificação de tornados, a mais utilizada é a escala Fujita (1971). Esta, destaca-se das demais por ser uma escala de fácil aplicação, sendo amplamente utilizada em todo o globo. Dessa forma, a avaliação em campo dos danos, bem como o mapeamento do rastro deixado pelo tornado são fundamentais para diagnosticar com precisão esse fenômeno.

Atualmente, com o avanço das geotecnologias (imagens de satélite, GPS, SIG, etc.), a coleta e análise dos dados de tornados tornou-se mais fácil e rápida comparada as técnicas até então utilizadas. Além disso, tanto no diagnóstico das causas quanto das consequências, essas ferramentas têm sido fundamentais para a realização de uma análise mais precisa e consistente.

Neste contexto, o presente relatório visa realizar uma análise das causas e consequências do tornado ocorrido em Muitos Capões (RS), no dia 29 de agosto de 2005, utilizando imagens de satélite e dados de GPS. Também buscou-se avaliar algumas técnicas de processamento digital de imagens que melhor identificassem o rastro do tornado utilizando imagens do satélite Landsat TM.

2. TORNADOS: CONCEITOS BÁSICOS

Os tornados formam-se em áreas de intensa instabilidade atmosférica na base das nuvens do tipo cumulonimbus, estendendo-se até o solo na forma de uma intensa coluna de ar giratória (Figura 1). Entretanto, para ser caracterizado como tal, esse fenômeno deve causar danos na superfície do terreno (Glickman, 2000).

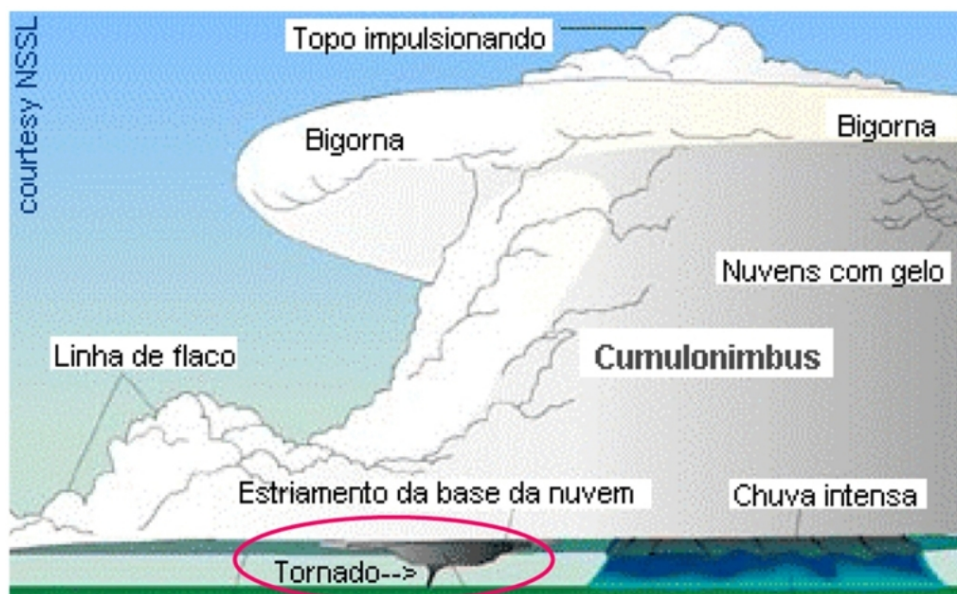


Figura 1 – Formação de um tornado na base de uma nuvem cumulonimbus.

Para melhor exemplificar, na Figura 2 é apresentada uma fotografia de um tornado ocorrido no Kansas (EUA). A nebulosidade que está acima do fenômeno é a base da nuvem cumulonimbus e sabe-se que o tornado tocou no solo devido a nuvem de detritos gerada na parte inferior do fenômeno.



Figura 2 – Tornado ocorrido no Kansas (EUA).
Fonte: www.metafilter.com/54985.

2.1 Características atmosféricas para a formação de tornados

Esses fenômenos formam-se em ambientes atmosféricos instáveis, associados a elevados valores de umidade e temperatura. Além disso, movimentos verticais de ar ascendentes devem estar presentes no ambiente para a formação do tornado. Existem diferentes teorias que tratam sobre a formação do tornado propriamente dito, sendo uma das mais aceitas a proposta por Stull (2000). O autor define tornado como um fenômeno originado a partir de uma vorticidade horizontal (ventos giratórios) na baixa troposfera (próximo a superfície), que ao se intensificarem inclinam-se para a posição vertical devido as correntes ascendentes de ar. Nas Figuras 3 e 4 pode-se observar, de forma simplificada, a formação do tornado.

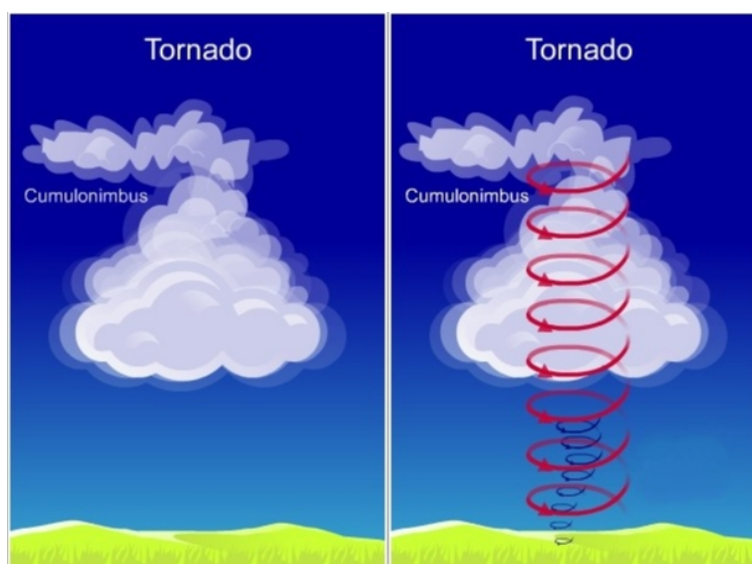


Figura 3 – Tipo de nuvem e circulação que formam o tornado.
Fonte: Met. Office (2007).

No primeiro quadro da Figura 3, verifica-se a formação de uma área de intensa instabilidade, que pode ser composta por uma ou mais nuvens do tipo cumulonimbus. Estas nuvens podem chegar até o limite superior da Troposfera, isto é, de 15 a 18 km de altitude, acumulando grande quantidade de energia em relação ao ambiente atmosférico em que se encontra. Grande parte dessa energia é liberada sob a forma de precipitação intensa, fortes ventos, relâmpagos e granizo. No segundo quadro, é demonstrada a formação do vórtice de ventos ascendentes que geram os tornados no interior das nuvens.

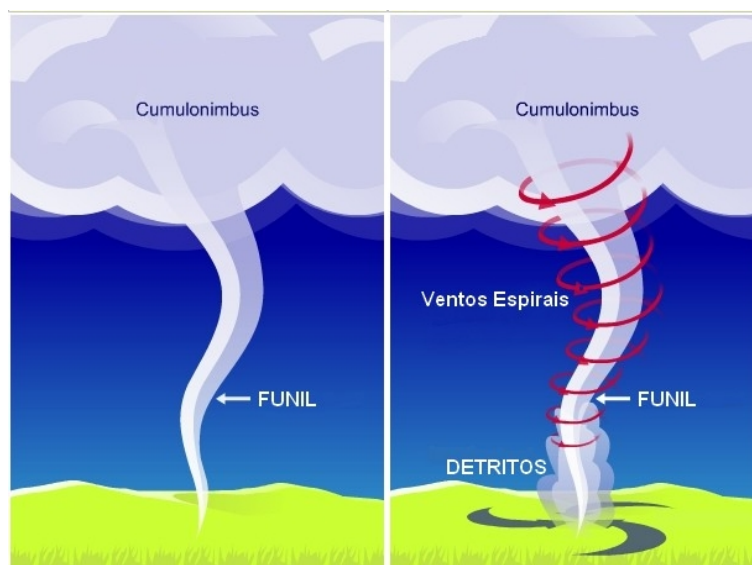


Figura 4 – Tornado e seus efeitos.
Fonte: Met. Office (2007).

Já na Figura 4, observa-se o tornado propriamente dito, que pode ser visualizado como uma nuvem funil, formado por ventos espirais intensos. Esses ventos combinados com a baixa pressão do centro do tornado, acarreta no efeito sucção (tipo “aspirador de pó”), que arranca e levanta grande quantidade de materiais existentes no solo (madeira, galhos, árvores, telhas, placas, etc.). Estes detritos, depois de levantados, são lançados a grande velocidade pelos ventos, transformando-se em perigosos projéteis que podem perfurar paredes, telhados e ferir gravemente pessoas e animais.

2.2 Diferença entre tornado e furacão

Geralmente ocorre uma grande confusão entre tornados e furacões, que são fenômenos bem distintos. Um furacão normalmente mede centenas de quilômetros de diâmetro e origina-se sempre nos oceanos, de onde retira a energia necessária para a sua formação. Ao atingir o continente, ele começa a dissipar, perdendo força rapidamente. O tempo de vida de um furacão pode chegar a vários dias, assim a sua previsão pode ser realizada com bastante antecedência. Já os tornados são fenômenos extremamente localizados, apresentando um diâmetro de dezenas ou centenas de metros, raramente atingindo diâmetros iguais ou superiores a 1 km. O tempo de vida de um tornado varia de poucos minutos até 1 hora de duração (casos raros). Apesar do tornado apresentar proporções bem menores que um furacão, seu poder de destruição é muito mais elevado.

Na Figura 5 nota-se visualmente a diferença existente entre esses dois fenômenos, sendo que em (a) verifica-se uma fotografia de um tornado, e em (b) uma imagem do sensor MODIS (satélite Terra) do Furacão Catarina. Nota-se que o diâmetro do Catarina, ao atingir a costa brasileira, era de aproximadamente 500 km (linha vermelha) e o diâmetro do olho possuía a mesma extensão da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis).

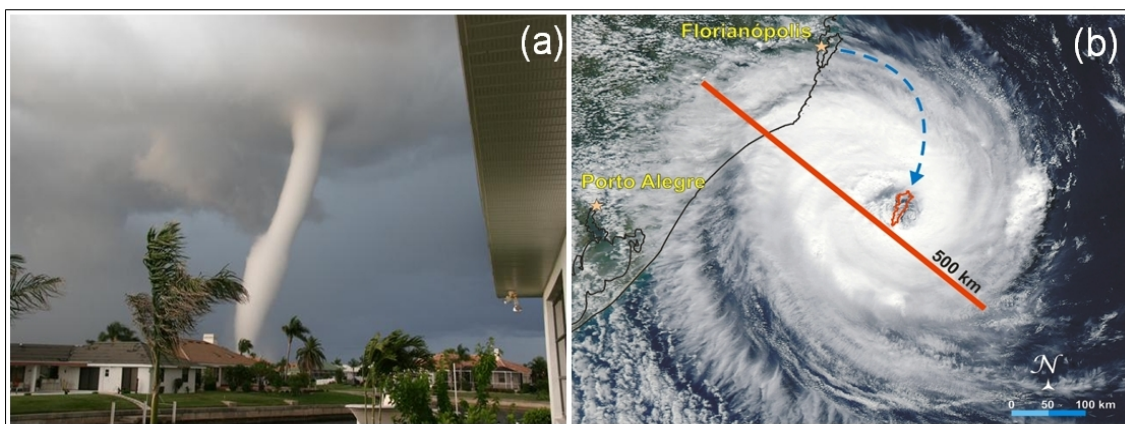


Figura 5 – Imagens de um tornado no EUA (a) e do Furacão Catarina (b).

Outro fato interessante é que a nuvem funil dos tornados pode ser vista visualmente em virtude do pequeno diâmetro da mesma. No caso dos furacões, sua totalidade só pode ser visualizada através de fotografias aéreas e imagens de satélite. Além disso, um observador em superfície, vê somente a chuva e os efeitos dos fortes ventos, semelhante as tempestades que ocorrem no verão.

2.3 Diferença entre tornado e vendaval

Quando ocorre um tornado, em virtude da falta de conhecimento sobre o fenômeno, as pessoas tendem a confundir com vendavais ou furacões, principalmente quando o tornado ocorre no período noturno, não permitindo que a nuvem funil seja visualizada. Este é um problema sério que tem mascarado os registros de tornados no Brasil (Oliveira, 2000).

Mas, assim como no caso dos tornados e furacões, também é possível fazer a correta distinção entre tornados e vendavais, mesmo quando não for possível visualizar o tornado. Conhecendo o comportamento dos ventos e o padrão de danos gerados, a diferença entre os fenômenos torna-se nítida.

Os ventos provenientes de um tornado são giratórios e causam torções em árvores e postes. Os danos são extremamente concentrados e apresentam uma linearidade, isto é, um rastro de destruição. O vendaval não causa danos tão intensos e concentrados quanto o tornado. São mais generalizados, distribuído por grandes áreas (Figura 6).

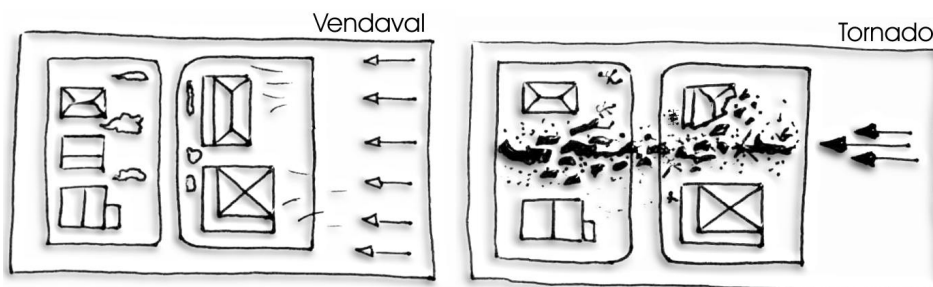


Figura 6 - Representação do tipo de destruição de um vendaval e de um tornado.
Fonte: Kobiyama et al. (2006).

2.4 Escala para medir a intensidade dos tornados

As escalas para estimar a intensidade dos ventos de tornados e furacões, baseiam-se na escala de ventos Beaufort, que utiliza o padrão dos danos para estimar a velocidade dos ventos. A escala Fujita mede a intensidade dos tornados e a escala Saffir-Simpson mensura a intensidade dos furacões.

Apesar da elevada tecnologia hoje existente para mensurar fenômenos meteorológicos, ainda há grande dificuldade de inserir equipamentos de medição no interior dos tornados. Assim, a utilização da escala Fujita baseada nos danos ocasionados pelo fenômeno ainda é a amplamente utilizada para estimar a intensidade dos tornados.

Tabela 1 - Escala de intensidade de tornados Fujita.

Intensidade	Categoria	Velocidade (km/h)	Comprimento (km)	Largura (m)	Danos
F0	Fraco	65-116	0 – 1,6	0 – 16	Leves
F1	Fraco	119-177	1,6 – 5	17 – 50	Moderados
F2	Forte	180-249	5,1 – 15,9	51 – 160	Consideráveis
F3	Forte	252-332	16 – 50	161 – 508	Severos
F4	Violento	335-418	51 – 159	540 – 1400	Devastadores
F5	Violento	421-512	161 – 507	1600 – 5000	Incríveis

Fonte: adaptada de Fujita (1981) e Demillo (1998).

A seguir estão relacionados os principais tipos de danos de cada categoria segundo Fujita (1981) e FEMA (1988):

- F0: os prejuízos são leves, podendo causar alguns danos em chaminés, destelhamentos, quebra de galhos de árvores, árvores com raízes rasas são tombadas. Deixam sinais de danos pela trajetória;
- F1: o limite inferior de velocidade dos ventos (119km/h) corresponde ao início da velocidade dos ventos nos furacões. Causam prejuízos moderados, tais como, arrancam a cobertura de telhados, movimentam carros para fora das estradas, trailers e casas frágeis (madeira) são arrancadas da fundação ou tombadas;
- F2: os prejuízos são consideráveis, pois podem arrancar todo o telhado, trailers e casas frágeis são destruídas, carros são levantados do chão, grandes árvores podem ser arrancadas pela raiz. Objetos tornam-se em projéteis;
- F3: causam prejuízos severos, derrubam telhados e paredes de casas bem construídas (alvenaria), a maioria das árvores nas florestas são arrancadas, trens são virados, carros pesados são levantados do chão e arremessados;
- F4: os prejuízos são realmente devastadores, casas bem construídas são niveladas ao plano (totalmente destruídas), estruturas com fundações fracas são transportadas por algumas distâncias, carros são arremessados e grandes projéteis generalizados;
- F5: os prejuízos são considerados incríveis. Casas com forte amarração são levantadas das fundações e varridas pelo caminho, automóveis grandes voam como projéteis pelo ar a distâncias superiores a 100 m, as árvores são arrancadas e lançadas a centenas de metros. Chega a arrancar asfalto e grama por onde passa.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realizar a análise das causas atmosféricas do tornado ocorrido em Muitos Capões (RS) foram utilizadas imagens do satélite GOES-12 do canal 4 (infravermelho). Com estas imagens pode-se identificar o tipo de sistema atmosférico que estava atuando no momento da ocorrência do tornado. Como dados complementares, também foram utilizados dados de precipitação estimados por satélite (GOES-12) e dados de descargas atmosféricas detectadas por sensores remotos localizados na superfície terrestre da Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (Rindat). Tanto a precipitação intensa como as descargas elétricas são fenômenos que normalmente acompanham as instabilidades atmosféricas que dão origem aos tornados.

Quanto a análise dos danos, utilizando GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global), foram utilizados dados coletados em campo cinco dias após a ocorrência do tornado. Informações a respeito do tipo de estrutura danificada e trajetória percorrida foram coletadas com o intuito de caracterizar o rastro e, conseqüentemente, classificar o fenômeno segundo a escala Fujita (1971).

Além dos dados em campo, foram utilizados dados coletados na imprensa e dados fornecidos pelo Relatório de Avaliação de Danos (AVADAN) realizado pela prefeitura local, que no período decretou Situação de Emergência.

Também foram utilizadas duas imagens do sensor TM (*Thematic Mapper* – Mapeador Temático) do satélite Landsat 5 para melhor caracterizar a trajetória dos danos do tornado. Esse procedimento metodológico será descrito com mais detalhes no item 3.1.

3.1 Processamento digital das imagens TM Landsat 5

Foram utilizadas imagens do sensor TM do satélite Landsat 5, sendo uma coletada Antes (05/05/2005) e outra Depois (09/09/2005) da ocorrência do tornado. Apesar do tornado ter ocorrido no dia 29/08/2005, Lillesand et al. (2002) verificaram que mesmo utilizando imagens de 10 a 17 dias após o evento ainda pode-se identificar as cicatrizes deixadas pelo seu rastro.

Para o processamento digital das imagens, foi realizado o registro e a correção atmosférica. O método utilizado na correção atmosférica foi o de subtração do pixel escuro, desenvolvido por Chavez (1988). Este pixel está associado a um alvo escuro, como um lago, que absorve a luz, resultando em níveis baixíssimos de reflectância. Este método não corrige propriamente os efeitos atmosféricos, mas ameniza consideravelmente os efeitos do espalhamento atmosférico nas imagens.

Posteriormente, seguindo os procedimentos metodológicos aplicados por Lillesand et al. (2002), iniciou-se o processo de interpretação visual das imagens, que consiste na análise de banda a banda visando encontrar as que melhor representavam o rastro do tornado. Em seguida, diferentes composições RGB (Red – vermelho, Green – verde, Blue – azul) foram realizadas, juntamente com a manipulação do histograma de imagens, buscando o contraste que melhor realçasse a trajetória do tornado.

Continuando com a aplicação dos métodos de processamento digital utilizados por Lillesand et al. (2002) e Yuang et al. (2002), foi aplicada a técnica de Análise por Componentes Principais (PCA – *Principal Components Analysis*) utilizando as bandas 1, 2, 5 e 7 das imagens Antes e Depois da ocorrência do tornado (bandas que proporcionaram a melhor identificação visual do rastro do fenômeno). A PCA é uma técnica que reduz ou remove a redundância espectral das bandas, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas. Também foi aplicada a mesma técnica para todas as bandas das duas imagens, com exceção da banda 6. Esses autores verificaram que essa técnica foi a que mais realçou rastros de tornados de categorias F3 até F5.

Magsig et al. (2000) e Yuang et al. (2002) utilizaram diferentes técnicas de processamento digital para verificar os rastros de diferentes intensidades de tornados. A técnica PCA e os índices de vegetação, tais como, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – *Normalised Difference Vegetation Index*), foram aplicados e geraram resultados positivos na detecção do rastro. Dessa forma, também foi calculado, além da PCA, o NDVI para a imagem depois da ocorrência do tornado de Muitos Capões.

Além das técnicas acima citadas, também foram testadas outras técnicas como a subtração de imagens, que consiste numa operação aritmética de subtração entre as bandas Antes e Depois que melhor realçaram o rastro do tornado.

Todos os processamentos foram realizados no SPRING, que é um *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. Este *software* foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pode ser adquirido gratuitamente na internet (<http://www.dpi.inpe.br/spring/>).

4. ANÁLISE DAS CAUSAS ATMOSFÉRICAS

O município de Muitos Capões foi atingido por um tornado no dia 29 de agosto de 2005, as 20:40 h, aproximadamente. Conforme Figura 7, este tornado originou-se de uma frente fria (simbologia em azul) que estava sobre o Estado do Rio Grande do Sul.

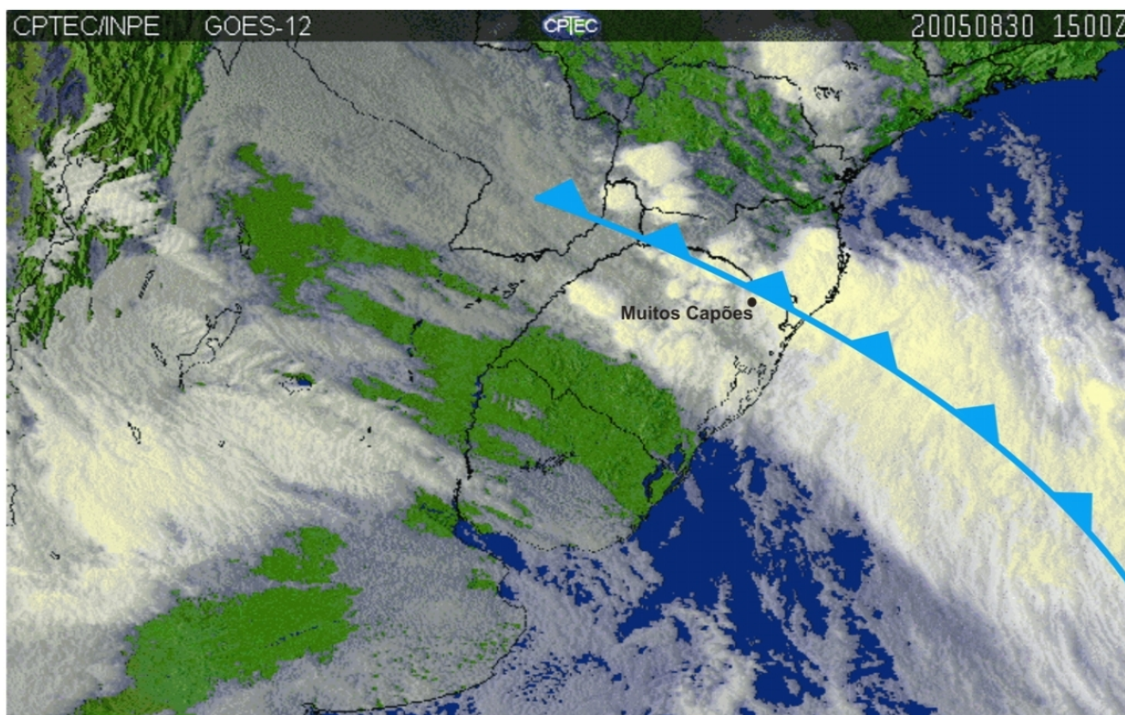


Figura 7 – Imagem do satélite GOES-12 do dia 30/08/05 mostrando a frente fria que gerou o tornado de Muitos Capões (RS).
Fonte: CPTEC/INPE (2007).

Apesar da Figura 7 apresentar uma imagem do dia seguinte da ocorrência do tornado, esta demonstra bem o sistema atmosférico que desencadeou o fenômeno, pois ainda estava influenciando grande parte do Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

No dia da ocorrência houve áreas de intensa instabilidade cobrindo a região do município, intensificando-se no período noturno, o que resultou na formação do tornado. Essa frente fria também ocasionou precipitação intensa de até 33 mm/h para a região do município de Muitos Capões.

Na Figura 8 em (a) pode-se verificar a precipitação estimada por satélite no horário próximo a ocorrência do tornado. Além da precipitação, foi verificada atividade elétrica nessa frente fria, com maiores registros próximos a região em que ocorreu o fenômeno, como observado em (b).

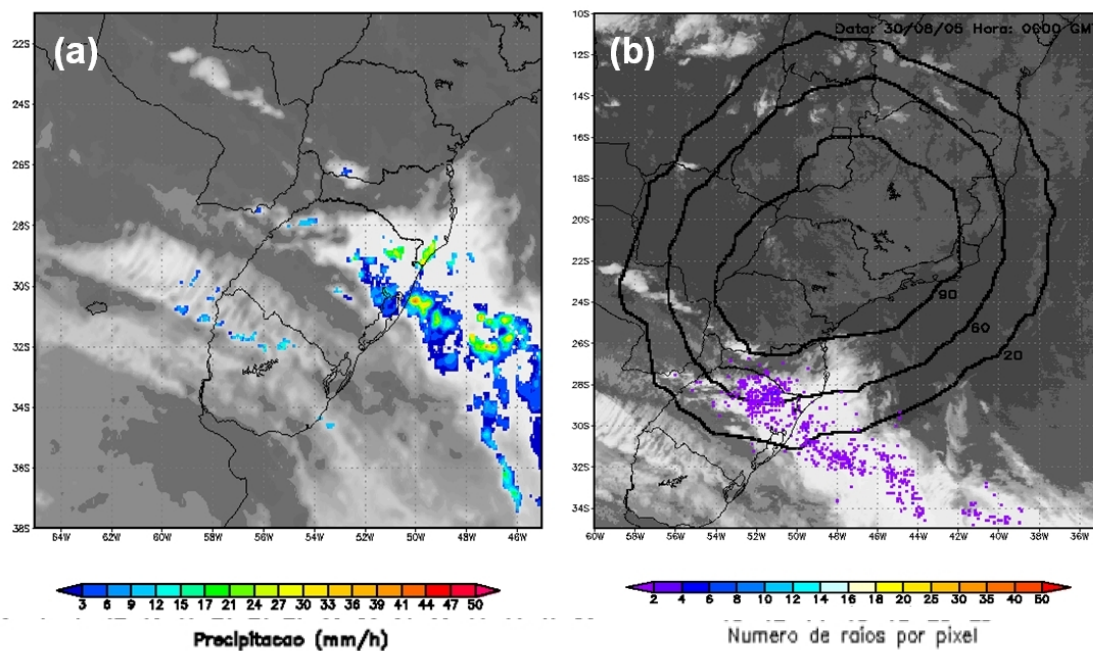


Figura 8 – Em (a) precipitação estimada por satélite gerada através do modelo hidroestimador do dia 29/08/2005 as 21:00h e em (b) número de raios em uma área de 100km², acumulado em um período de 30 minutos. Fonte: CPTEC/INPE (2007).

5. ANÁLISE DAS CONSEQÜÊNCIAS DO TORNADO

A análise dos danos provocados pelo tornado de Muitos Capões foi realizada com dados de campo e com imagens TM do satélite Landsat 5. A avaliação em campo permitiu detalhar os danos e prejuízos, assim como analisar os tipos de estruturas que foram danificadas, para então realizar a classificação do fenômeno. Com a análise das imagens foi possível verificar a extensão e largura do rastro e identificar o tipo de terreno em que ocorreu o fenômeno. Além disso, também foram coletados dados do AVADAN que contém informações sobre os prejuízos gerados.

5.1 Análise com dados de campo

Os dados coletados com GPS em campo permitiram determinar com precisão as medidas totais do rastro do tornado. A extensão e largura máxima do rastro foi de 48.225 m (48 km) e 290 m, respectivamente. Essa medida foi realizada no trecho da cicatriz sobre a sede do município, quando o tornado atingiu sua intensidade máxima. A extensão do fenômeno abrangeu três municípios: iniciou tocando o solo em Capão Bonito do Sul, atravessou todo o município de Muitos Capões, dissipando já no município de Vacaria (Figura 9).

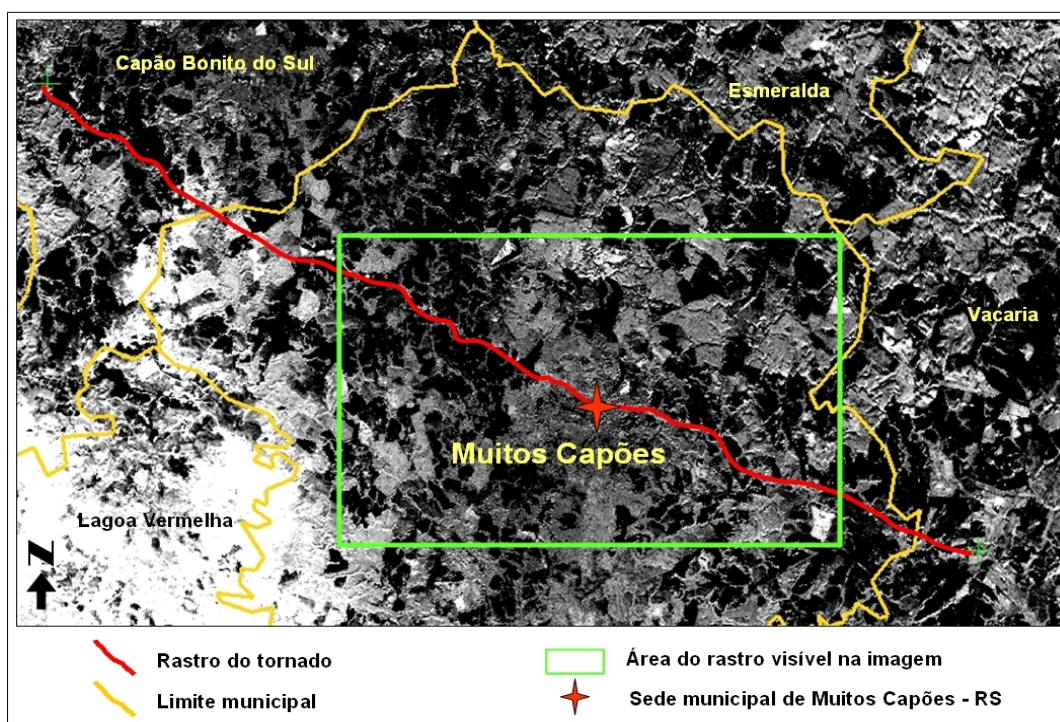


Figura 9 – Rastro do tornado identificado com pontos de GPS (linha vermelha) e o trecho que está visível na imagem de satélite (quadro amarelo).

De acordo com a análise dos danos ao longo da trajetória percorrida, houve falhas no rastro, ou seja, é provável que o tornado não tenha permanecido todo o tempo tocando a superfície do terreno, e sim ter saltado em alguns locais. Além disso, conforme verificado em campo, nos primeiros quilômetros o tornado (F1) dividiu-se, dando origem a outro tornado de menor intensidade (F0), voltando a se unir com mais força (F2), quilômetros a frente.

A Figura 10 mostra a extensão do rastro do tornado de Muitos Capões identificando a variação da sua intensidade ao longo da trajetória. Na maior parte do seu deslocamento o tornado apresentou intensidade F2, atingindo a categoria F3 quando atravessava a área urbana do município. As menores intensidades (F0 e F1) foram identificadas no início e no final da sua trajetória.

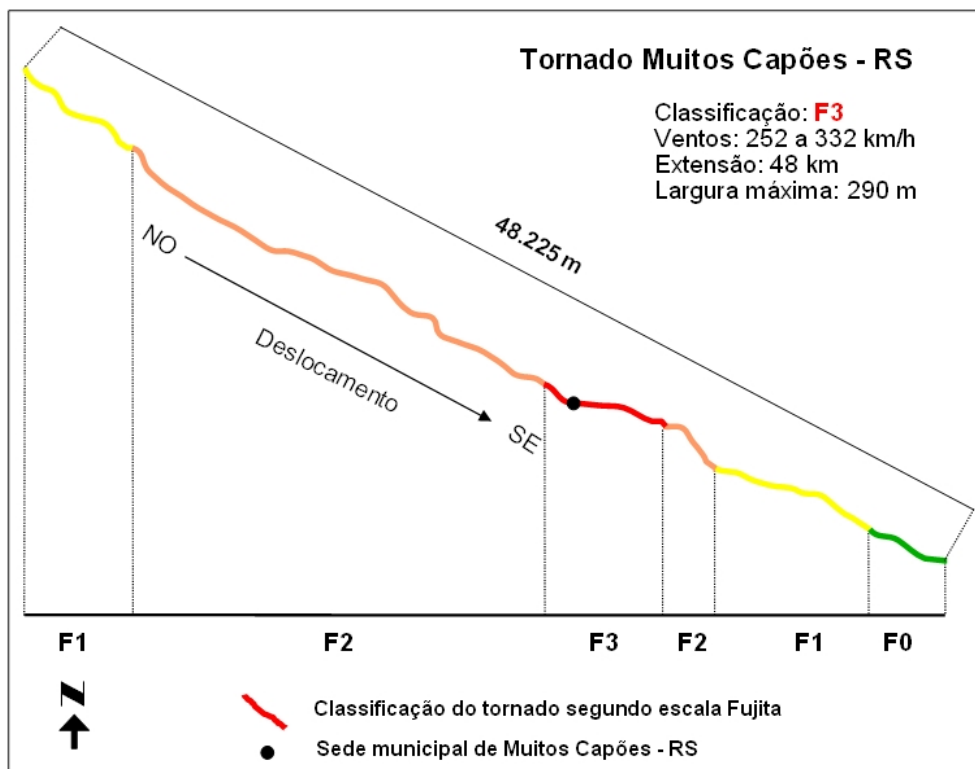


Figura 10 - Classificação do rastro do tornado.

Apesar dessa variação, os tornados são classificados com a intensidade máxima atingida. Assim, neste caso tratou-se de um tornado F3, com ventos estimados que podem atingir velocidades entre 252 e 332 km/h. Os prejuízos de um tornado dessas proporções são considerados severos, podendo derrubar telhados e paredes de casas bem construídas (alvenaria), arrancar a maioria das árvores nas florestas, virar vagões

de trens, levantar e arremessar carros. Além disso, para esta classe a extensão da trajetória do tornado vai de 16 a 50 km e a largura do rastro de 161 a 508 m. Como já citado, o tornado de Muitos Capões enquadra-se nessas medidas, o que o torna num clássico tornado F3 (rever Tabela 1, página 7).

O rastro do tornado não varia de intensidade somente ao longo de sua trajetória, mas também na sua largura. Quanto mais próximo do centro do rastro, maior a intensidade encontrada. Na Figura 11, pode-se verificar que a largura correspondente a F3 foi de 70 m, e de 145 e 175 m, quando somado F3+F2 e F3+F2+F1, respectivamente. Para melhor identificar os pontos de destruição na sede municipal, a letra (A) corresponde a Prefeitura Municipal, (B) a Câmara de Vereadores e (C) o Banco SICREDI.

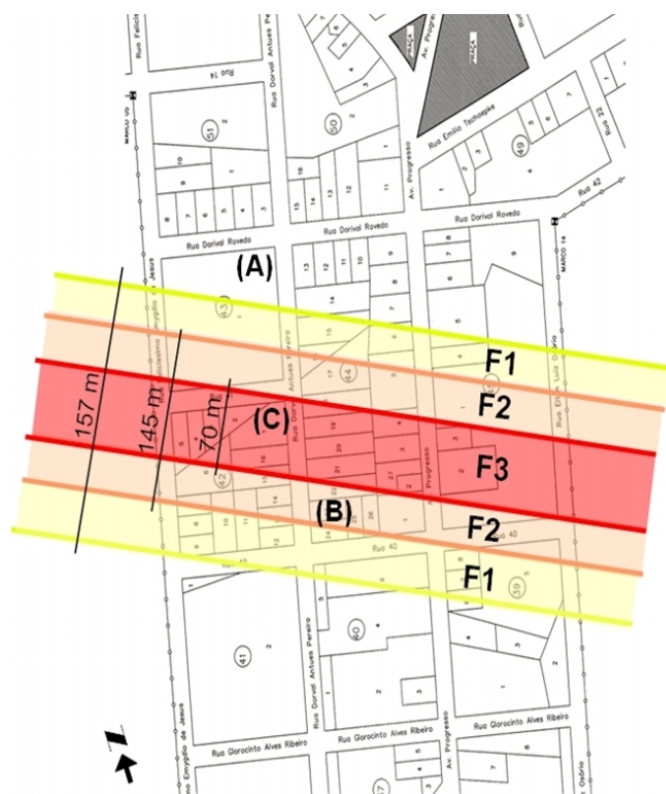


Figura 11 – Classificação da largura do rastro do tornado.

Quanto aos prejuízos, foram destruídas casas de madeira, casas mistas (parte em madeira e parte em alvenaria) e edificações públicas de alvenaria. Esses estragos foram registrados em grande quantidade no trecho classificado como F3. Na Figura 12, no sentido horário pode-se ver os danos causados pelo tornado. As fotos (a) e (b) mostram o prédio que era utilizado pelo Banco SICREDI, parcialmente destruído. Este tipo de destruição demonstra o quão forte foram os ventos do tornado, visto que sua estrutura

era composta de tijolo maciço e de concreto armado nas vigas e colunas. Devido as fortes sucções, todos os vidros do prédio, inclusive as portas, estouraram com a passagem do fenômeno.

A foto (c) mostra a destruição causada quando o tornado começa a atingir a sede municipal com força F3, arrancando árvores da mata. Neste ponto também foram destruídas completamente 4 casas, sendo 3 de alvenaria e 1 de madeira. Pode-se perceber, ainda na foto (c), que as paredes do banheiro de uma das casas de alvenaria ficou em pé. Destaca-se que diversas casas que foram bem danificadas ficaram com o banheiro praticamente intacto. Isso ocorre devido ao uso de vigas e colunas de amarração em um cômodo de pequenas dimensões, o que aumenta sua resistência. Além disso, geralmente as paredes dos banheiros são de alvenaria, com revestimento interno de azulejos, fortalecendo ainda mais a amarração da estrutura. Este é considerado o cômodo da casa mais seguro para se proteger durante a ocorrência de tornados e vendavais. Todavia, se não houver vigas de amarração ou a velocidade dos ventos do tornado forem muito intensas, nem mesmo esse cômodo da casa permanecerá em pé.

As fotos (d) e (e) mostram a garagem da prefeitura totalmente destruída. Essa garagem também está localizada próxima as casas destruídas na foto (c). A foto (f) mostra os danos causados na Câmara dos Vereadores, onde toda a estrutura do telhado foi arrancada pela força dos ventos. A foto (g) mostra o carro que foi arrastado pelo tornado. Os dois pontos com a seta em azul no mapa da cidade mostram a distância percorrida pelo carro (cerca de 60 m). As fotos (h), (i) e (j) mostram várias casas completamente destruídas no centro da trajetória do tornado. Na foto (l), verifica-se uma panorâmica do Centro Social do município. Esta edificação era de tijolos maciços, revestidos por alvenaria, com um telhado com estrutura de madeira. Praticamente toda a edificação foi destruída, permanecendo em pé somente alguns pedaços de paredes. Por fim as fotos (m) e (n), mostram o local de saída do tornado da área urbana, deixando grandes eucaliptos tombados ou com seu caule cortado pela velocidade dos ventos.

Os danos materiais não se limitaram somente a área urbana do município. Em outros pontos da área rural também houve diversas avarias em casas, galpões de estocagens, estufas, silos, etc. A Figura 13 mostra alguns dos danos materiais encontrados na área rural do município.



Figura 13 – Danos em edificações na área rural do município.

Além destes danos também foi verificada uma extensa área afetada com culturas agrícolas e mata nativa. Diversas plantações foram destruídas e árvores de grande porte tombadas e ou quebradas pela força do tornado. Também foi verificada uma enorme quantidade de projéteis lançados pelos fortes ventos a centenas de metros de distância de sua posição original. A Figura 14 mostra algumas fotos dos projéteis e dos danos ambientais.



Figura 14 – Exemplos de danos ambientais e projéteis lançados pelo tornado.

O município decretou Situação de Emergência (SE) e de acordo com o relatório de avaliação de danos foram 83 edificações danificadas e 21 destruídas, sendo que 18 eram residências e 3 prédios públicos. Houve 16 pessoas feridas e 80 famílias ficaram desalojadas. O valor estimado dos prejuízos totais do município foi de R\$ 3 milhões.

As proporções dos danos do tornado em Muitos Capões, levou vários periódicos a noticiarem a ocorrência do fenômeno. Nesses jornais relatou-se que a frente fria que gerou o tornado em Muitos Capões também causou vários tipos de fenômenos extremos em outros municípios do estado, como chuvas intensas, vendaval que causaram destelhamentos, queda de energia, queda de árvores, etc. (Zero Hora, 30/08/05). Santa Catarina também registrou ocorrências de vendavais e granizo em alguns municípios do

interior do estado (Diário Catarinense, 30 e 31/08/05), indicando que a frente fria que desencadeou o tornado em Muitos Capões (RS) também gerou outros fenômenos extremos ao longo de seu percurso pela Região Sul do país. A Figura 15 mostra a chamada na capa de alguns jornais de circulação (locais e regionais), demonstrando a importância dada ao fenômeno.



Figura 15 – Diversos jornais fizeram a cobertura do fenômeno, demonstrando sua importância no contexto regional.

5.2 Análise do rastro do tornado com imagens TM Landsat - 5

Imagens do sensor TM (Landsat – 5) Antes (04/05/05) e Depois (09/09/05) do evento foram utilizadas com o intuito de comparar e realizar análise multitemporal, caracterizando melhor assim o rastro de destruição deixado pelo tornado.

Ressalta-se que a imagem Depois foi de 10 dias após a ocorrência do fenômeno e sua obtenção dependeu da passagem do satélite sobre a área de estudo (passagem a cada 16 dias) e da ausência de nebulosidade sobre o município. É interessante destacar que mais da metade da imagem utilizada estava coberta por nuvens. Todavia, sobre a região do rastro não havia densas nuvens, somente uma fina nebulosidade que, mesmo assim, permitiu a análise do rastro.

Os pontos de GSP coletados em campo, do início ao final da trajetória do tornado, demonstraram que o rastro foi bem maior do que a imagem TM pôde detectar (rever Figura 8, página 14). Apesar do tornado ter medido 48 km de extensão, na imagem utilizada somente foi possível identificar com nitidez e confiabilidade cerca de 6,5 km

de extensão, isto é, correspondente a faixa F3 e parte da F2. Isso ocorreu porque a resolução espacial da imagem (30 m) permite identificar com nitidez os trechos que causaram mais danos (F2 e F3) e que deixaram uma cicatriz de maiores proporções no terreno. Além disso, por ter sido obtida 10 dias após a ocorrência do tornado, a imagem pode ter detectado o rastro com algumas alterações devido ao processo de reconstrução e recomposição da vegetação nativa. Isto confunde e dificulta a identificação exata da extensão e largura da trajetória, principalmente para os trechos de menores proporções.

Inicialmente, foi realizada a interpretação visual banda a banda. Verificou-se que as bandas 2, 3, 5 e 7 foram as que apresentaram os melhores resultados na identificação do rastro. Lillesand et al. (2002), realizou essa mesma análise para um tornado F3 que ocorreu nos EUA e verificou que as bandas 1, 2, 5 e 7 foram as que melhor representavam a trajetória do tornado.

Para melhor entender as bandas do sensor TM, a Figura 16 ilustra as bandas com suas respectivas faixas no espectro eletromagnético (eixo x) e o comportamento espectral de diferentes alvos na superfície (eixo y).

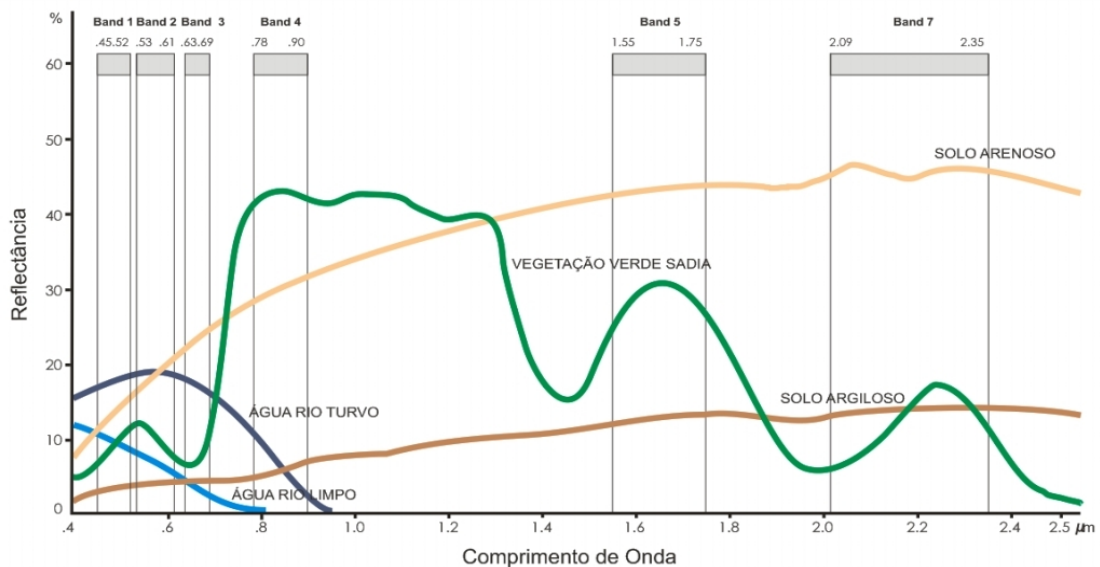


Figura 16 – Comportamento espectral de alvos para cada banda do satélite Landsat 5.

No tornado de Muitos Capões, a banda 1 não foi utilizada e a banda 2 apresentou resultados satisfatórios apesar da presença de uma pluma de nebulosidade (nuvens) sobre a imagem Depois da ocorrência. Ressalta-se que estas bandas correspondem a faixas espectrais sensíveis a presença de nebulosidade.

Após a análise de banda por banda, foram feitas composições coloridas aplicando realce de contraste. A técnica de realce de contraste objetiva melhorar a qualidade visual das imagens, em relação a capacidade perceptiva do olho humano. Alterar o contraste da imagem consiste numa mudança radiométrica em cada "pixel", que objetiva aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Foram testadas várias composições coloridas entre bandas e diferentes contrastes. Na Figura 17 verifica-se um dos melhores resultados dessa etapa que destacou o rastro do tornado (setas), que foi a composição colorida das bandas 473 (RGB), com a aplicação do contraste negativo. Esse contraste negativo é uma função de mapeamento linear inversa, ou seja, transforma as áreas escuras em áreas claras e vice-versa.

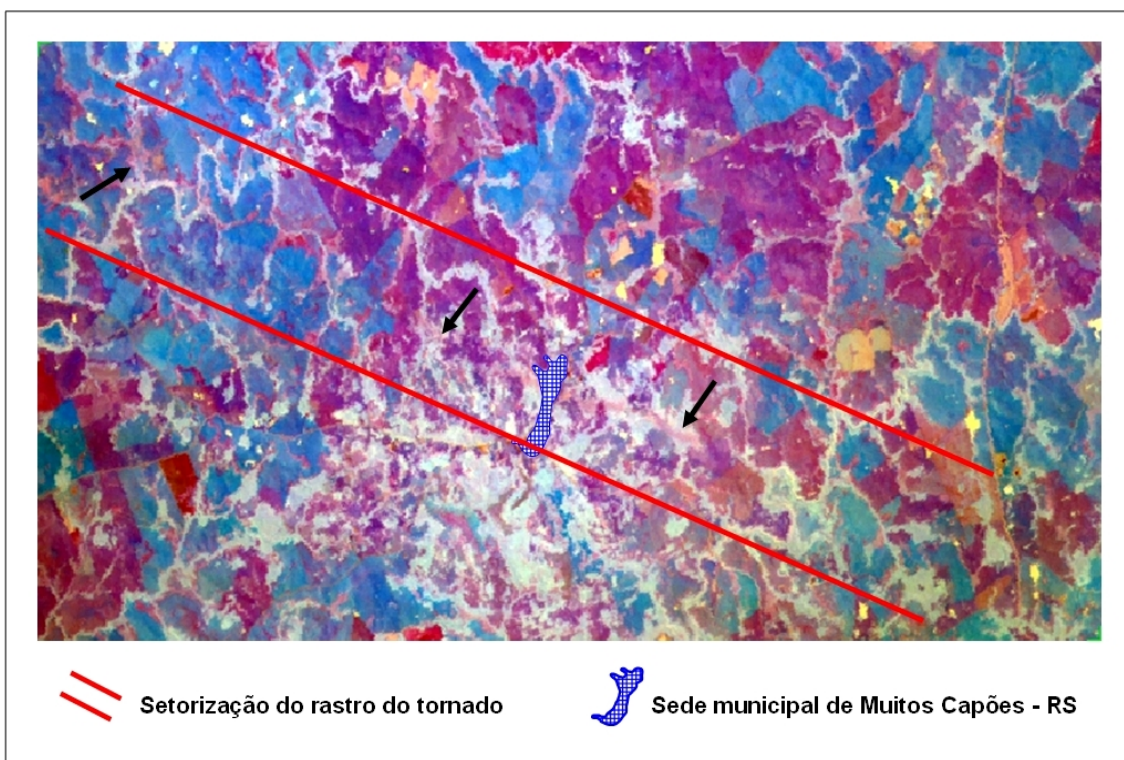


Figura 17 – Composição 473 RGB com contraste negativo.

O NDVI foi utilizado nas imagens pós-ocorrência visto que o mesmo realça as diferenças existentes na resposta espectral da vegetação, com as áreas urbanas e desmatadas adjacentes. O resultado não correspondeu ao esperado, pois o NDVI somente realçou o rastro próximo a sede municipal (solo exposto com casas destruídas), diminuindo significativamente o contraste nas áreas rurais. Isso ocorreu porque o NDVI não contrastou a cicatriz do rastro com o uso do solo nas áreas rurais: campos e culturas agrícolas, onde há mistura de vegetação e solo exposto.

Outro processamento aplicado foi a análise multitemporal por componentes principais (PCA). A PCA foi aplicada nas bandas que melhor identificaram o rastro do tornado (2, 3, 5 e 7), junto com as respectivas bandas da imagem Antes da ocorrência. A componente principal que melhor realçou o rastro foi a PC2, que apresenta menos contraste entre os alvos que a PC1, mas devido à ausência de sombreamento não dão informações topográficas (Figura 18). Essa técnica também foi aplicada utilizando todas as bandas das imagens Antes e Depois. Todavia o resultado foi inferior ao encontrado pela análise que utilizou um menor número de bandas.

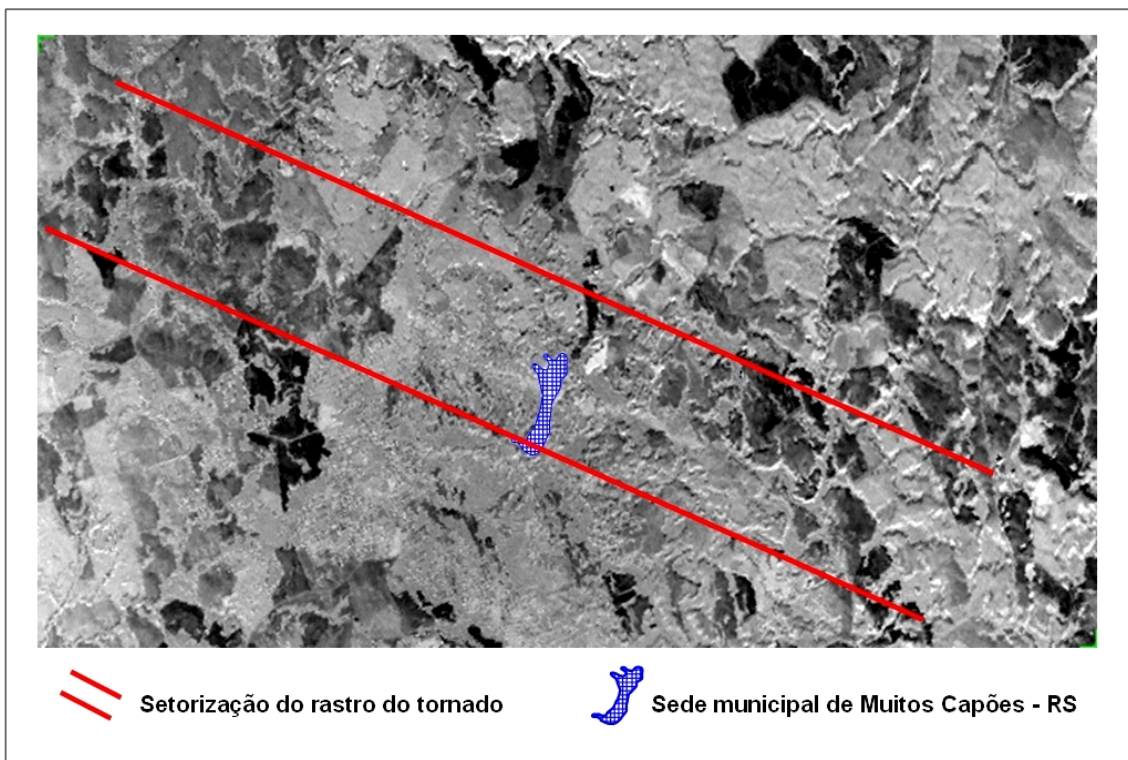


Figura 18 – PC2 das bandas 2, 3, 5 e 7 das imagens Antes e Depois do tornado.

Das técnicas de processamento avaliadas, a que apresentou o melhor resultado foi a subtração de imagens. A subtração foi realizada com as bandas que melhor apresentaram uma interpretação visual do rastro. A Figura 19 mostra o resultado da subtração da banda 7 coletada Depois do tornado (b7d) pela Antes (b7a). Nota-se que na imagem Depois (09/09/2005) a cicatriz é identificada nas áreas com vegetação mais densa, praticamente desaparecendo nas áreas de vegetação esparsa, campo e culturas agrícolas. A ausência de contraste está relacionada com a resposta espectral (forma que o sensor registra os alvos) desses alvos que se assemelha muito com a do rastro do tornado.

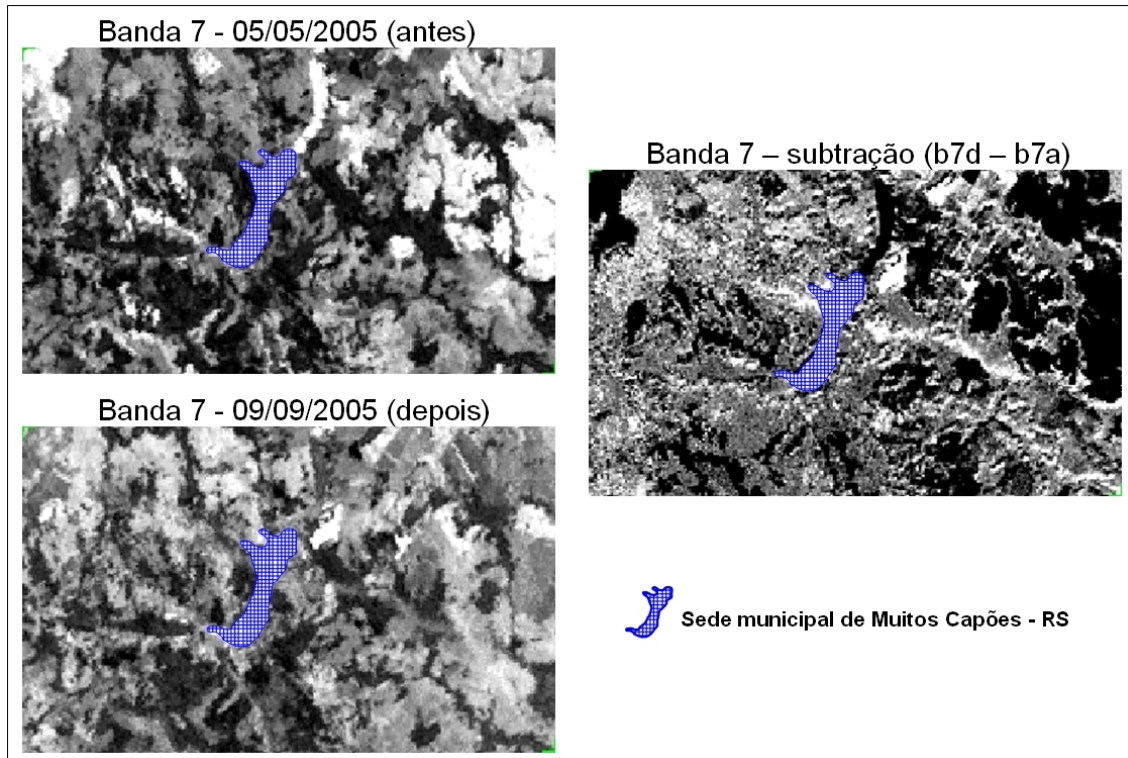


Figura 19 – Subtração de bandas realizado com a banda 7, antes e depois do tornado.

Já na imagem resultante houve um excelente contraste entre a cicatriz deixada pelo tornado e os demais alvos presentes na cena porque a subtração de imagens realça as mudanças que ocorreram na paisagem. Assim, como o tornado deixou um rastro de destruição bem definido causando uma mudança na superfície do terreno, foi bem destacado na imagem resultante da subtração. Essa imagem resultante gerou um maior realce entre todos os alvos em geral, destacando melhor o rastro do tornado. A Figura 20 mostra o resultado da subtração da banda 7 (Depois pela Antes) para toda a área onde foi possível identificar o rastro do tornado com imagens TM.

Na Figura 21 é apresentada uma composição RGB com o resultado da subtração das bandas 5, 7 e 3. Como trata-se de uma composição com imagens resultantes da subtração das bandas que melhor representaram o rastro do tornado, a cicatriz produzida está bem realçada indicando a mudança que ocorreu entre a imagem coletada Antes e Depois.

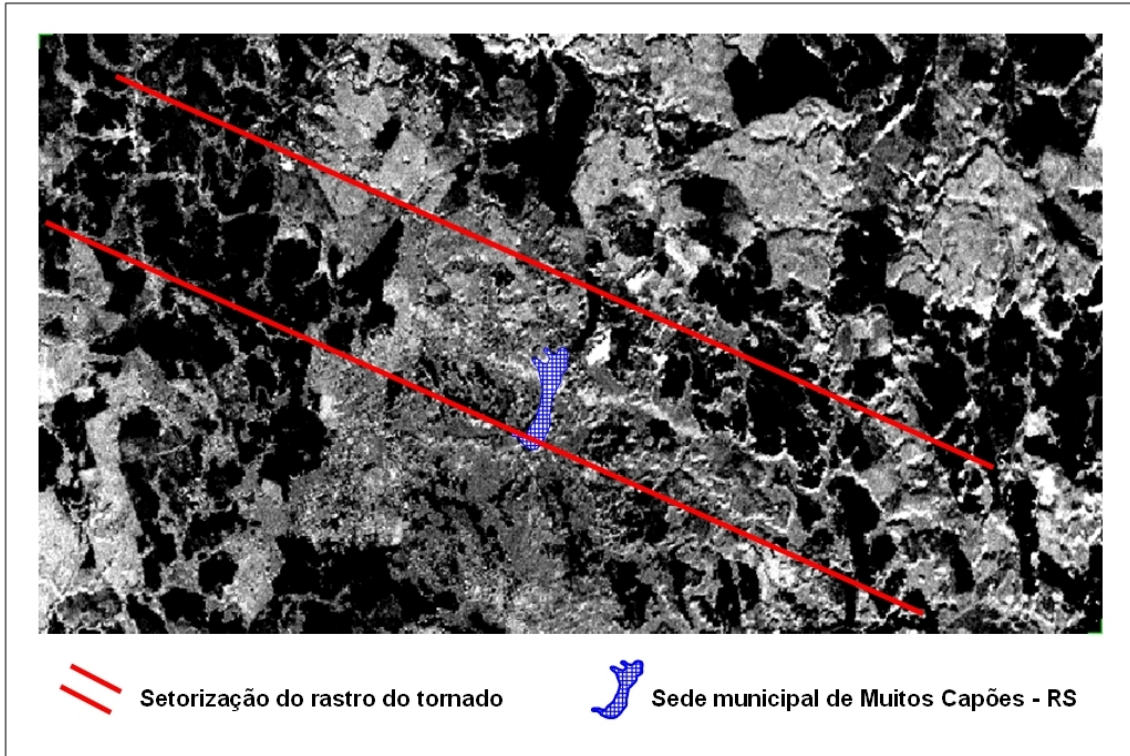


Figura 20 – Subtração da banda 7 coletadas Depois do tornado pela Antes.

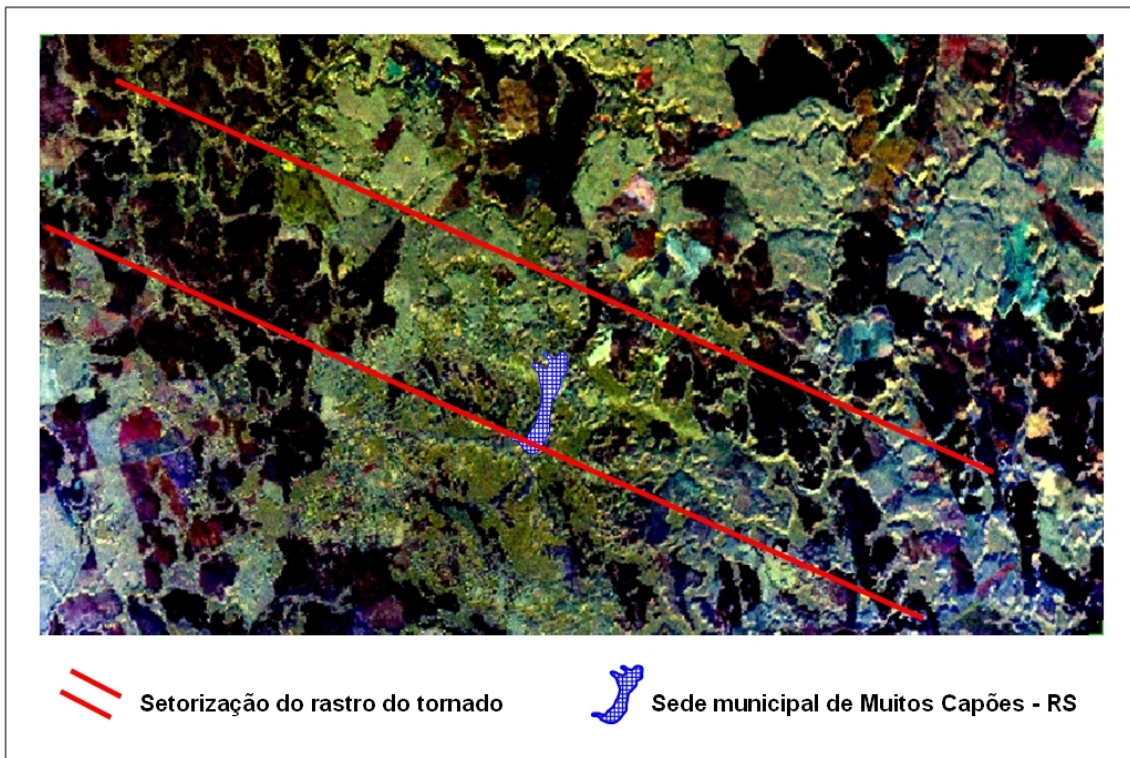


Figura 21 – Composição RGB com o resultado da subtração das bandas 5, 7 e 3.

A Figura 22 mostra um zoom do rastro do tornado na imagem subtração da banda 7, que contempla a sede municipal de Muitos Capões e imediações. Este corresponde ao trecho que foi melhor identificado, classificado como F2 e F3 segundo a escala Fujita (1971). Através da imagem foi feita a mensuração da largura do rastro, que foi de 145 m, próximo a sede do município, similar a encontrada com GPS em campo referente a somatória das intensidade F2 e F3 (rever Figura 11, página 16).

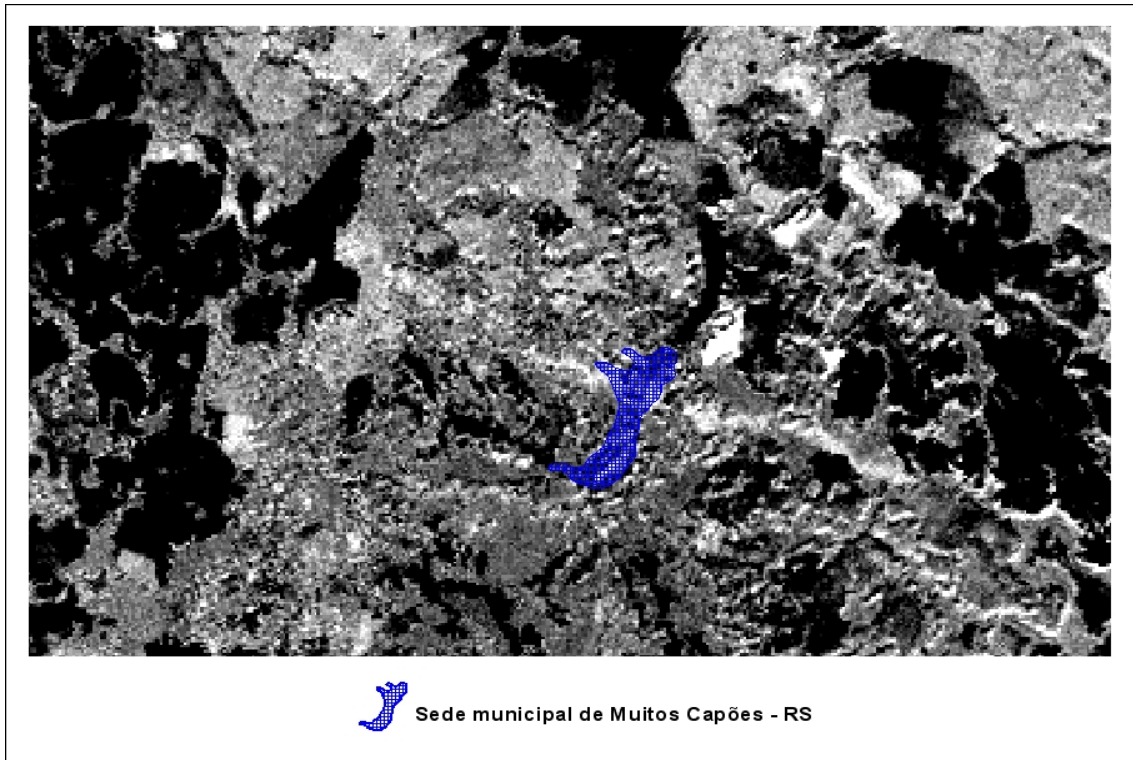


Figura 22 – Zoom aproximado da imagem subtração da banda 7.

6. MEDIDAS PREVENTIVAS EM OCORRÊNCIAS DE TORNADOS

Nos eventos de tornados algumas medidas preventivas podem ser adotadas para minimizar os danos e proteger a população localizada na trajetória do fenômeno. Como ainda não existem sistemas de alerta para tornados no Brasil, a população deve ficar atenta aos sinais (condições atmosféricas) que prenunciam esse tipo de fenômeno. Este é o primeiro passo.

Os fortes ventos do tornado frequentemente proporcionam nas comunidades impactadas algum tipo de dano físico devido a grande quantidade de projéteis (materiais voando em alta velocidade) que podem causar muitos ferimentos e até mortes. Dentre as pessoas que correm mais riscos, pela dificuldade de deslocamento e demora na resposta, destacam-se os idosos, as crianças e os deficientes físicos e mentais.

Assim, nos subitens a seguir estarão relacionados alguns procedimentos que devem ser feitos antes, durante e depois da ocorrência de tornados (NOAA, 1995; Kobiyama et al., 2006).

6.1 Antes da ocorrência de tornados

- Ficar atento às previsões de tempo emitidas pelas emissoras de rádio e televisão. Prepare-se sempre que for anunciado tempestades severas para a sua região. Normalmente, essas tempestades são acompanhadas por raios, trovões, chuvas e granizo;
- Verifique qual o cômodo mais seguro da sua casa. O banheiro e o corredor são as melhores opções devido ao tamanho reduzido e a presença de vigas e colunas que aumentam a resistência estrutural. Além disso, as janelas dos banheiros são pequenas e os corredores, em sua maioria, não possuem janelas. Lembre-se: fique longe das janelas para não ser atingido por um projétil. Se a casa for mista (madeira/alvenaria), busque sempre ficar no cômodo de alvenaria.
- Avise a todos os membros da família para que cômodo correr na iminência de tornado. Tenha sempre em mãos almofadas, travesseiros e colchões para serem usados como proteção, principalmente da cabeça;

- Tenha em casa um kit para situações de emergência com lanterna, pilhas, roupas, medicamentos de primeiros socorros, comidas não perecíveis, rádio a pilha e água potável;
- Mantenha em local de fácil visibilidade uma lista de telefones para socorro em situações de emergência, tais como: Corpo de Bombeiros, Defesa Civil, Polícia Militar, Prefeitura Municipal, entre outros;
- Coloque objetos de valor em um lugar seguro onde não possa ser levado pelos fortes ventos;
- Coloque documentos pessoais, dinheiro, papéis e fotografias importantes em um saco a prova d'água, mantendo-o consigo;
- Desligue o gás, a água e a eletricidade. Muitas pessoas morrem eletrocutadas durante as ocorrências de desastres;
- Conheça a cidade e o bairro que você vive para buscar abrigo, caso a sua residência não seja segura;
- Se a sua região for propícia a ocorrências de tornados, é importante que as escolas, hospitais, repartições públicas, entre outros, tenham um plano de como se proteger na iminência de um tornado.

6.2 Durante a ocorrência de tornados

- Fique longe das aberturas (portas e janelas) e vá para o andar mais próximo do solo, de preferência o subsolo (porão);
- Na ausência de um porão, dê preferência ao corredor, banheiro ou armário, sempre no piso mais baixo da casa;
- Se estiver em um edifício, desça para o andar mais baixo ou escolha um local no centro de um corredor;
- Se estiver na rua ou dentro de um carro, saia do automóvel e deite-se em uma vala ou depressão profunda no solo. Essa medida o protegerá, principalmente dos projéteis gerados pelo tornado.

6.3 Depois da ocorrência de tornados

- Se você não estiver ferido, ajude as pessoas feridas dando-lhe os primeiros socorros, caso saiba como proceder;
- Chame os órgãos responsáveis pela ajuda no pós-desastre: Corpo de Bombeiros, Defesa Civil e Polícia Militar;
- Evite deslocar-se desnecessariamente. Após o impacto, muitos postes e linhas elétricas estão caídas no chão aumentando o risco de eletrocussão (choque elétrico). Além disso, o chão fica coberto com grandes quantidades de entulhos e objetos pontiagudos que podem causar sérios ferimentos;
- Esteja atento as últimas informações de emergência anunciadas por emissoras de rádio ou televisão. Na ausência de energia, use rádio a pilha;
- Use o telefone somente para casos de emergência;
- Saia do local se sentir cheiro de gás ou fumaça química;
- Tire fotos dos danos para auxiliar na análise do fenômeno;
- No processo de reconstrução redobre os cuidados, pois é neste momento que ocorrem a maior quantidade de acidentes;
- Evite ao máximo reutilizar comidas e objetos danificados. Você poderá estar contribuindo para gerar novos acidentes.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O tornado de Muitos Capões – RS foi desencadeado por uma frente fria que estava passando sobre o Rio Grande do Sul no dia 29 de agosto de 2005;
- Os danos gerados por esse tornado ocasionou a destruição total e parcial de várias edificações (residenciais, comerciais e públicas) tanto na área urbana quanto na rural;
- O tornado foi classificado com a intensidade F3, com velocidade estimada dos ventos de 250 a 330 km/h. Seu rastro mediu 48 km de extensão e 290 m de largura, atravessando três municípios gaúchos (Capão Bonito do Sul, Muitos Capões e Vacaria);
- As imagens TM do satélite Landsat 5 auxiliaram na identificação e caracterização do rastro do tornado, mostrando-se um excelente recurso para obter informações sobre as dimensões e extensão total dos danos ocasionados por tornados com intensidade superiores a categoria F2;
- As medidas obtidas nas imagens são compatíveis com as do campo, sendo assim, as imagens podem auxiliar nas informações do fenômeno diminuindo o tempo das saídas de campo;
- Recomenda-se testar imagens pancromáticas dos sensores SPOT e ASTER para a identificação de rastros de tornados com intensidades F0 e F1;
- Recomenda-se que a população local esteja informada sobre o tipo de fenômeno que atingiu o município e que tenham acesso as medidas preventivas de como proceder antes, durante e depois da ocorrência de um tornado.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

BROOKS, E. H.; LEE, W. J.; CRAVEN, J. P. The spatial distribution of severe thunderstorm e tornado environments from global reanalysis data. **Atmospheric Research**, v. 67-68, p. 73-94, 2003.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

DEMILLO, R. **Como funciona o clima**. São Paulo: Quark Books, 1998.

FEMA – Federal Emergency Management Agency. **Taking shelter from the storm: building a safe room inside your house**. Washington, USA: FEMA, 1998. 28 p.

FUJITA, T. T. A proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. **SMRP Paper 91**, 42, Univ. of Chicago, 1971.

FUJITA, T. T. Tornadoes and downbursts in the context of generalize planetary scales. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 8, 1981.

GLICKMAN, T. S. **Glossary of meteorology**. Boston: American Meteorology Society, 2000. 855 p.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.

LILLESAND, T.; PODGER, N.; CHIPMAN, J.; GOLDMANN, R.; LEWELLING, K.; OLSEN, T. Assessing tornado damage via analysis of multi-temporal Landsat 7 ETM+ Data. In: Annual Conference Of The American Society For Photogrammetry And Remote Sensing (ASPRS), 22., Washington, 2002. **Proceedings...** Washington: ASPRS, 2002.

MAGSIG, M.; DICKENS-MICOZZI, M.; YUAN, M. Analysis of tornado damage on May 3rd, 1999, using remote sensing and high-resolution satellite imagery. Conf. on Severe Local Storms, 20., Orlando, 2000. **Proceedings...** Amer. Meteor. Soc., 9-12, 2000.

MARCELINO, I. P. V. O. **Análise de episódios de tornados em Santa Catarina: caracterização sinótica e mineração de dados**. São José dos Campos. 220 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2003.

MET. OFFICE – Meteorological Office. **Tornadoes**. Disponível em: <<http://www.metoffice.gov.uk/education/secondary/students/tornadoes.html>> Acesso em: 20 mar. 2007.

NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? **Revista Brasileira de Meteorologia**, 20, p. 121-140, 2005.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. **Tornadoes: a preparedness guide**. 1995. Disponível em: <<http://www.nssl.noaa.gov/edu/safety/tornadoguide.html>> Acesso em: 10 mar. 2007.

OLIVEIRA, I. P. V. Distribuição espaço-temporal e análise de tornados em Santa Catarina no período de 1976 a 2000. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 4., Rio de Janeiro, 2000. **Anais...** Rio de Janeiro: CLIMAGEO/UFRJ/CREA, 2000. 11 p. (CD Rom).

STULL, R. B. **Meteorology for scientists and engineers**. Pacific Grove: Brooks/Cole, 2000. p. 339-351.

YUAN, M.; DICKENS-MICOZZI, M.; MAGSIG, M. A. Analysis of tornado damage tracks from the 3 may tornado outbreak using multispectral satellite imagery. **Weather and Forecasting**, v. 17, p. 382-398, 2002.