



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



[sid.inpe.br/mtc-m19/2013/03.28.11.24-NTC](http://sid.inpe.br/mtc-m19/2013/03.28.11.24-NTC)

## **DESASTRES NATURAIS E GEOTECNOLOGIAS: INUNDAÇÃO – CADERNO DIDÁTICO Nº. 7**

Tania Maria Sausen  
Igor da Silva Narvaes

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DQGE82>>

INPE  
São José dos Campos  
2013

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):****Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

**Membros:**

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr<sup>a</sup> Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Luciana Manacero - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/03.28.11.24-NTC

## **DESASTRES NATURAIS E GEOTECNOLOGIAS: INUNDAÇÃO – CADERNO DIDÁTICO Nº. 7**

Tania Maria Sausen  
Igor da Silva Narvaes

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DQGE82>>

INPE  
São José dos Campos  
2013





# ***DESASTRES NATURAIS e GEOTECNOLOGIAS***

## ***Inundação***



**CADERNO DIDÁTICO Nº. 7**

**Santa Maria, RS, Brasil  
Março 2013**



**Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA



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

## **DESASTRES NATURAIS E GEOTECNOLOGIAS:**

### **Inundação**

Tania Maria Sausen  
Igor da Silva Narvaes

INPE/CRS  
Santa Maria

2013

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	05
2.	O QUE É INUNDAÇÃO?.....	06
3.	INUNDAÇÕES NO BRASIL E NO MUNDO.....	08
4.	SENSORIAMENTO REMOTO PARA INUNDAÇÃO.....	11
5.	RESOLUÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL.....	13
6.	APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA INUNDAÇÃO.....	20
7.	MONITORAMENTO DE INUNDAÇÃO UTILIZANDO IMAGENS DE RADAR.....	24
8.	AVALIAÇÃO DE DANOS DE INUNDAÇÃO UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS.....	32
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

Capa: Imagem LANDSAT5/TM de 12 de agosto de 2010 próximo a cidade de Kashmor, Paquistão  
<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=45343>, Acessado em 13/03/2013

## PREFÁCIO

A Região Sul do Brasil e os países do MERCOSUL, bem como a América do Sul têm sido severamente impactados por desastres naturais, principalmente a partir da década de 70, que resultou em grandes prejuízos sócio-econômicos, assim como num elevado número de vítimas fatais. A maioria dos desastres está associada às instabilidades severas que causam entre outros, inundações, escorregamentos, vendavais, tornados e aos períodos de déficit hídrico, caracterizados pelas estiagens. Além dos fatores sócio-econômicos, acredita-se que este aumento no registro do número de desastres naturais, também pode estar diretamente vinculado às alterações do clima por decorrência das mudanças globais.

As geotecnologias, representadas principalmente pelas imagens de satélite, softwares de geoprocessamento e dados de GPS, estão disponíveis a todos os usuários e progridem rapidamente. Atualmente já é possível a obtenção de imagens de satélite de várias resoluções espaciais, espectrais e temporais, e de softwares para geoprocessamento, que, em alguns casos, podem ser encontrados gratuitamente na internet. A popularização também do uso do GPS, utilizado principalmente nos trabalhos de campos em eventos de desastres, juntamente com as imagens e os softwares constitui-se no importante triângulo de ferramentas das geotecnologias, que auxiliam de forma decisiva na identificação, monitoramento e mapeamento de desastres naturais e eventos extremos, em todas as partes do mundo.

Os fatores mencionados acima, o aumento do número de desastres e a facilidade de acesso e uso das geotecnologias, é o que move as atividades do Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos (GEODESASTRES-SUL), do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizado em Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul.

A maioria dos órgãos e instituições envolvidos com desastres naturais tem observado que o dano causado por estes fenômenos poderia ser prevenido, reduzido ou minimizado, se a população em geral, os tomadores de decisão, os formadores de políticas e os formadores de opinião tivesse a correta noção do que são estes eventos. Até mesmo em termos conceituais, a população e os tomadores de decisão confundem furacão com tornado, alagamento com enchente, etc. Esta falta de informação e a falta da correta definição de cada um dos fenômenos em muitos casos atrapalha a ação das autoridades, dos órgãos de defesa civil e levam a população a subdimensionar seus efeitos.

Muitos tomadores de decisão, planejadores e administradores também desconhecem a potencialidade das geotecnologias para a gestão, prevenção e mitigação de desastres naturais e eventos extremos.

Neste contexto o GEODESASTRES-SUL, numa iniciativa pioneira, criou o Projeto **Cadernos Didáticos - Desastres Naturais e Geotecnologias**. Este projeto tem como objetivo elaborar material didático sobre desastres naturais e geotecnologias visando informar e capacitar os tomadores de decisão e o público em geral sobre as causas, consequências e medidas preventivas que devem ser adotadas em relação aos principais tipos de desastres que ocorrem nesta região da América do Sul.

Tania Maria Sausen  
Coordenadora GEODESASTRES-SUL

## Introdução

Os rios e os corpos de água sempre foram, e são até hoje, um dos mais importantes recursos para a sobrevivência da humanidade. Eles são fontes de **abastecimento, irrigação e mesmo de fertilização dos solos**, como ocorre durante as cheias ao longo do rio Nilo, no Egito.

São também usados em várias regiões do mundo, como vias naturais de circulação, ao longo das quais as embarcações se deslocam transportando mercadorias, pessoas e animais. Os rios sempre foram importantes **vias de transporte**, interligando as comunidades ribeirinhas, localizadas as margens dos corpos de água, nas várzeas e planícies fluviais, terrenos sujeitos às inundações.

Na Amazônia, principalmente, o transporte tanto de cargas como de passageiros é realizado pelos caudalosos rios da região, que funcionam como grandes vias de comunicação (Figura 1).



Figura 1-Barco para transporte fluvial na região Amazônica

Historicamente, a **humanidade se estabeleceu nas proximidades dos corpos hídricos**, principalmente em virtude da necessidade do uso da água, tanto para o consumo direto quanto para atividades como a agricultura, a

pecuária, a indústria e como meio de comunicação (Figura 2).

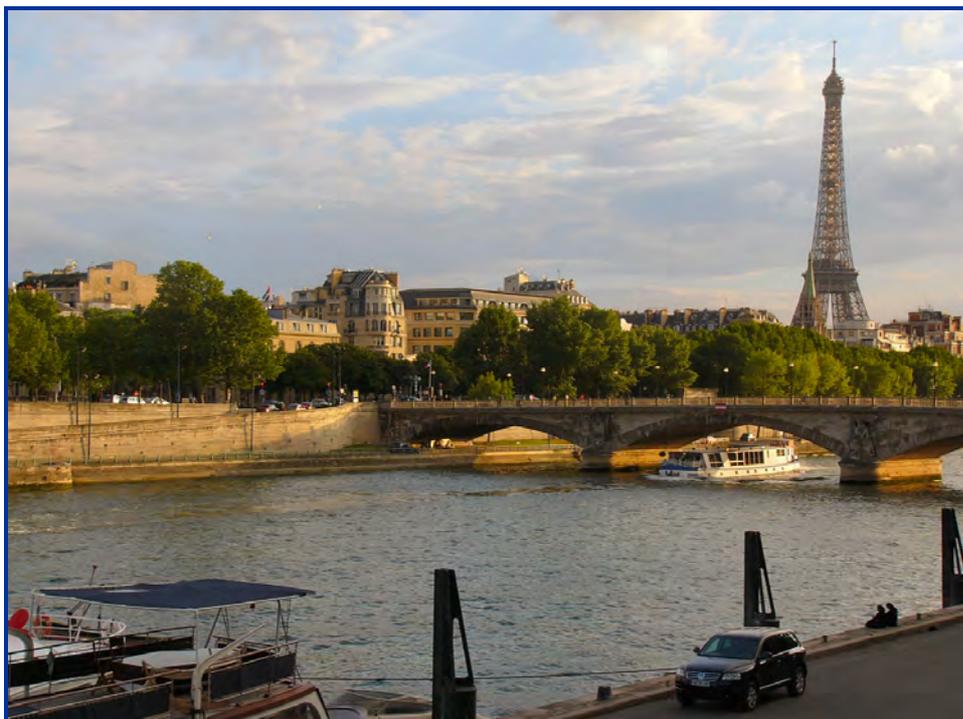


Figura 2-Cidade de Paris, a beira do rio Sena, França.

Isto fez com que muitas cidades tivessem sua origem ou estão totalmente localizadas na planície fluvial, áreas sujeitas as inundações periódicas, algumas delas devastadoras.

### **O que é Inundação?**

De acordo com o glossário da Secretaria Nacional de Defesa Civil-SEDEC (Castro, 2005), inundação é o **“transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas”**.

Para Kobiyama et al (2006), a **inundação**, que é popularmente tratada como enchente, é **“o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele”**. Quando não ocorre o transbordamento, apesar de o rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação (Figura 3).

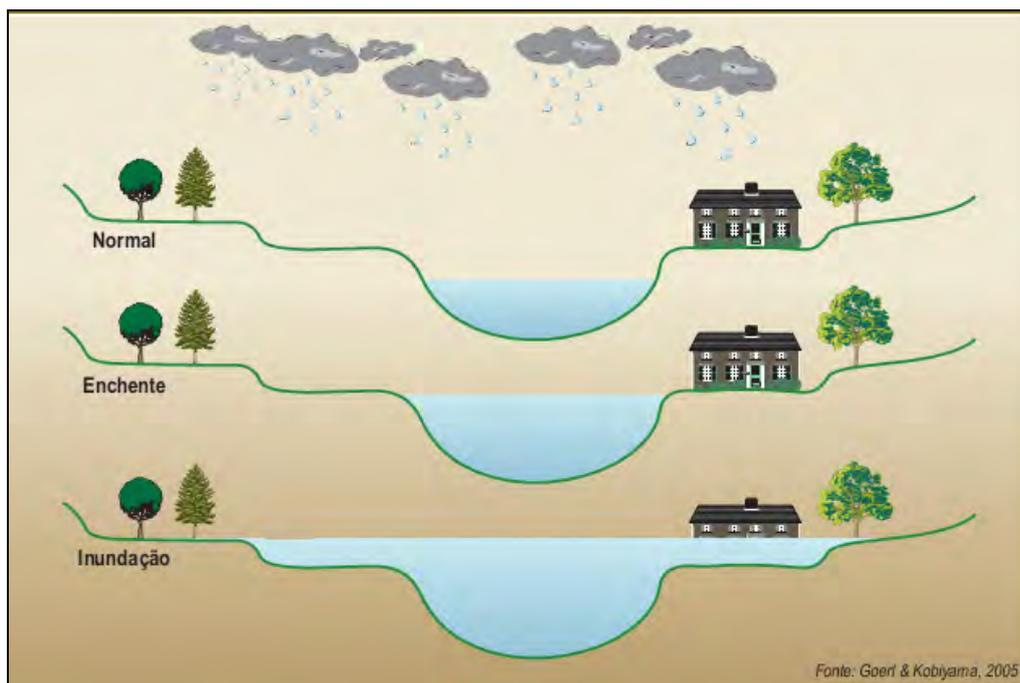


Figura 3-Representação gráfica de um rio em sua vazão normal, em situação de enchente e de inundação.

Fonte: [www.revistaemergencia.com.br](http://www.revistaemergencia.com.br)

Assim, por este motivo, no mundo científico os termos ***inundação*** e ***enchente*** devem ser usados de forma diferenciada (Figura 4).



Figura 4-Inundação na cidade do Rosário do Sul, RS  
 Fonte: Diário de Santa Maria, março de 2011

## Inundações no Brasil e no mundo

Entre todos os tipos de desastres naturais no mundo, as ***inundações provavelmente são os mais devastadores***, que abrangem maior área e os que ocorrem com maior frequência. É um evento natural e recorrente para um rio. Estatisticamente, os rios igualam ou excedem a inundação média anual a cada 2,33 anos (Figura 5).

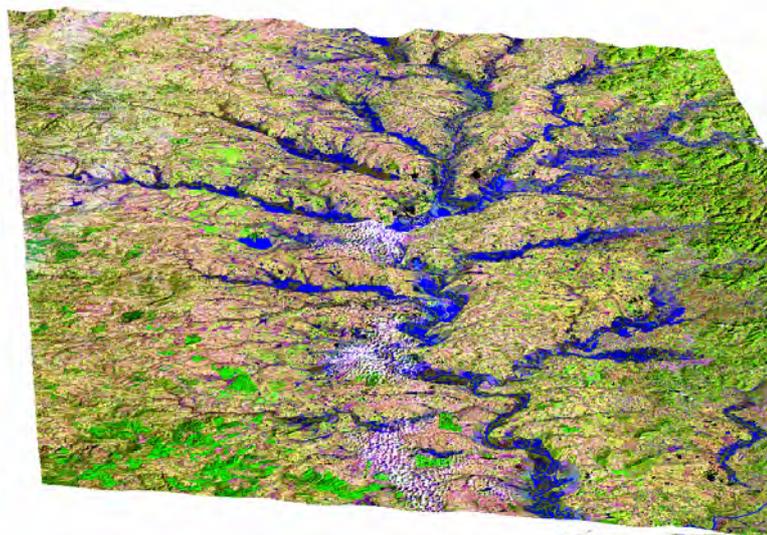


Figura 5-Imagem 3D (LANDSAT5/TM + SRTM) de inundação no rio Jacuí, RS, em 28/08/1998

Os eventos de inundação são responsáveis por quase **55%** de todos os desastres registrados e aproximadamente **72.5%** do total de perdas econômicas ao redor do mundo.

Anualmente causam danos às cidades, rodovias e agricultura com altíssimos custos em vidas e para a economia como um todo. A Tabela 1 apresenta a relação das dez mais importantes inundações ocorridas no período de 1900 a 2012, de acordo com o ***Emergency Events Database EM-DAT*** (<http://www.emdat.be/>), o maior banco de dados sobre desastres no mundo.

Por esta tabela é possível constatar que a região do mundo que mais sofre com inundações é a Ásia, ao redor de **75%** dos eventos de inundação ocorrem neste continente. Na Europa, é o tipo mais frequente de desastre natural e responsável por **75%** das indenizações, causadas por desastres naturais, pagas por companhias de seguro.

Tabela 1-Dez maiores inundações ocorridas no período de 1900 a 2012 e número de pessoas mortas por país

País	Data	Nº pessoas mortas
China-inundação gradual	Jul-1931	3.700.000
China-inundação gradual	Jul-1959	2.000.000
China-inundação gradual	Jul-1939	500.000
China-inundação gradual	1935	142.000
China-inundação gradual	1911	100.000
China-inundação gradual	Jul-1949	57.000
Guatemala-inundação gradual	Out-1949	40.000
China-inundação gradual	Aug-1954	30.000
Venezuela-inundação brusca	15-Dez-1999	30.000
Bangladesh-inundação gradual	Jul-1974	28.700

Fonte: "EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database  
www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium", 9 de Maio 2012

Em 2011 os desastres naturais no mundo geraram quase 30 mil mortos, o Brasil entra na conta com **900 óbitos** causados por inundações e deslizamentos, Figura 6.

Pelo mapa da Figura 6 pode-se observar que num período de 29 anos os países que mais sofreram com eventos de inundação foram o Brasil, Estados Unidos, Índia, China, Bangladesh e Indonésia. Todos tiveram mais de 60 episódios de inundação.

**Number of Occurrences of Flood Disasters by Country:  
1974-2003**

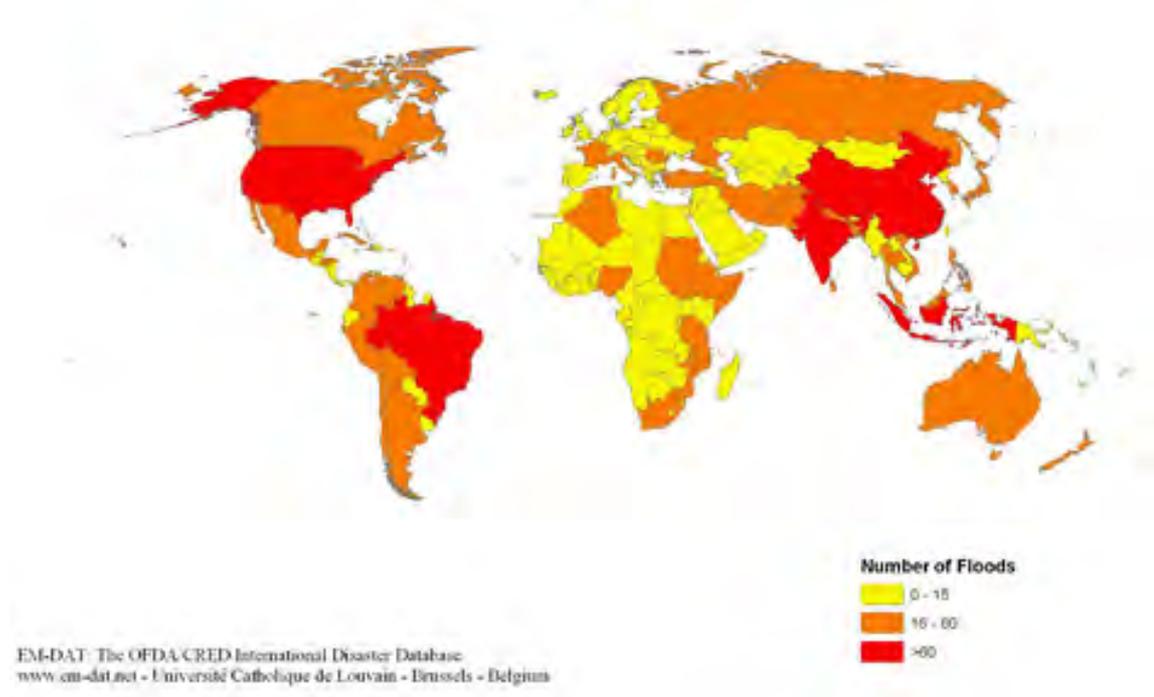


Figura 6-Mapa mundial com a distribuição de ocorrências de inundações por país no período de 1974 a 2003.  
Fonte: EM-DAT, 2013.

As dezessete mais importantes inundações no Brasil que ocorreram num período de cem anos estão listadas a seguir:

- Rio de Janeiro (região serrana) - Janeiro de 2011
- São Paulo - Janeiro de 2011
- Alagoas e Pernambuco - 2010
- Rio de Janeiro - Abril de 2010
- São Luiz do Paraitinga - 2010
- Santa Catarina - Novembro de 2008
- Barragem de Camará, Paraíba - 2004
- Minas Gerais - 2001
- Acre - 1997
- Rio de Janeiro - 1988
- Blumenau - 1983
- Minas Gerais e Espírito Santo - 1979
- Cuiabá - 1974
- Santa Catarina - 1974

- Rio de Janeiro - 1966 e 1967
- Porto Alegre - 1941
- Blumenau – 1911

### **Sensoriamento remoto para inundação**

O monitoramento de inundações utilizando dados de sensoriamento remoto possibilita que rapidamente e de forma precisa se tenha uma visão geral das áreas inundadas. A extensão da inundação e das áreas afetadas pode ser informada as autoridades e tomadores de decisão, as agências de proteção civil e de seguro. Avaliações do evento incluem informações para facilitar a avaliação de danos, estimarem melhor os riscos futuros e preparar mais adequadamente as medidas de proteção.

O uso de geotecnologias para o estudo e monitoramento de inundações possibilita que:

- Sejam identificadas e mapeadas as planícies de inundação e outras áreas sujeitas a inundação;
- O monitoramento da inundação;
- Mapeamento, caracterização e cálculo da área inundada;
- Avaliação do impacto causado por este tipo de desastres;
- Planejamento integrado para a prevenção e redução dos impactos causados por inundações;
- Avaliação dos danos ambientais provocados por inundações;
- Mapa da frequência de inundação;
- Mapa da altura da inundação

A Observação da Terra pode contribuir para melhorar a gestão de inundação. Informações desta natureza são fontes valiosas de geoinformação atualizada para o mapeamento de risco de inundação (fase da prevenção), para a previsão de inundação (fase da preparação) e para as fases de crise e pós-crise utilizando mapas de extensão da inundação e avaliação de danos (Appel and Fraipont, 2005)

Para a caracterização e monitoramento de eventos de inundação podem ser utilizados sistemas sensores que operam na faixa óptica do espectro eletromagnético bem como na porção das microondas. Sensores como o TM a bordo do satélite LANDSAT e os que estão a bordo do satélite CBERS, do Obview, GEOEYE, SPOT, operam na porção óptica do espectro que vai do ultravioleta ao infravermelho, conforme mostrado na Figura 7.

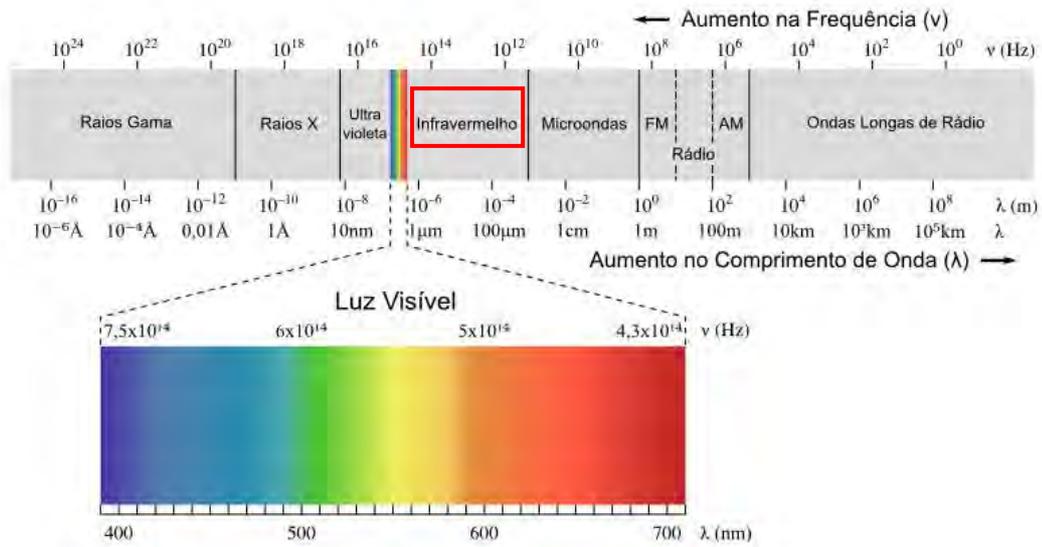


Figura 7-Espectro eletromagnético  
 Fonte: <http://www.google.com.br/imgres>

Imagens obtidas na porção do infravermelho são excelentes para mapeamento de corpos de água, e conseqüentemente de inundações, em função do comportamento espectral da água nesta faixa do espectro (Figura 8).

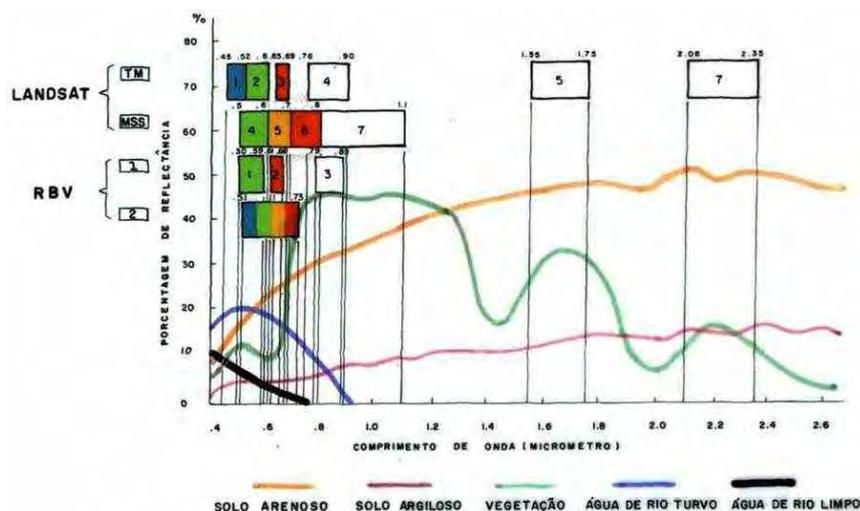


Figura 8-Relação entre as bandas espectrais dos sensores remotos a bordo de satélites e a refletância de objetos (alvos) na superfície terrestre, onde se pode observar a baixa refletância da água na região do infravermelho.

Na porção do espectro acima  $0,7 \mu\text{m}$  a água, em seu estado líquido, absorve toda radiação eletromagnética que chega até ela, o que faz com que apareça nas imagens em tonalidade escura, contrastando com os alvos ao seu redor. Este contraste facilita o mapeamento das áreas inundadas ( Figura 9).

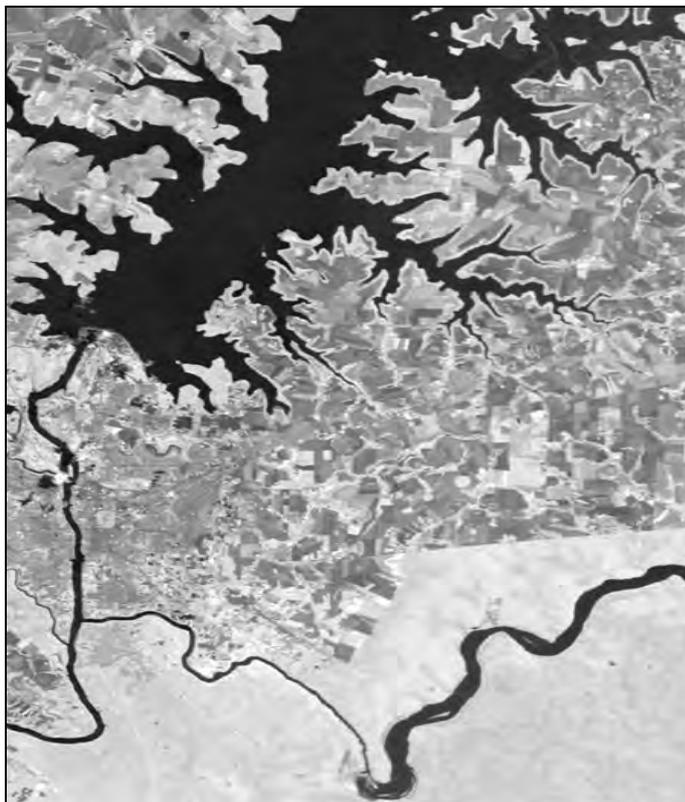


Figura 9-Imagem LANDSAT 5/TM, no infravermelho, do reservatório de Itaipu e rios Paraná e Iguaçu, na fronteira ente o Brasil, Argentina e Paraguai, onde os corpos de água aparecem em tonalidade preta, contrastando com os alvos ao redor.

### **Resolução Espacial e Temporal**

Ao eleger-se um dado de sensoriamento remoto para estudos e monitoramento de eventos de inundação é necessário que se considere as características da plataforma/sensor, tais como as resoluções espacial, temporal e espectral, a acessibilidade e os custos dos dados.

**Resolução Espacial** se refere ao menor elemento ou superfície que pode ser distinguida por um sistema sensor. Determina o nível de detalhe das informações adquiridas pelo sensor. Nos satélites de Observação da Terra há uma grande variedade de sensores com distintas resoluções, tais como as

imagens do sensor ETM do LANDSAT com 30m nas bandas do visível e 15m no modo pancromático e o sensor HRVIR do SPOT-5 com bandas com 10m e 20m de resolução. O sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua, apresenta uma resolução de 250m, os que estão a bordo do satélite GEOEYE, tem resolução de 0,41m no modo pancromático e de 1,65m no modo multiespectral.

Estas diversas resoluções espaciais fazem com que os eventos de inundação sejam analisados de diferentes modos, pois em uma imagem de um sensor com resolução espacial de 250m como o MODIS, é possível caracterizar e analisar inundações que abarcam grandes regiões, como a que ocorreu no Rio Grande do Sul no período de setembro de 2009 a janeiro de 2010, onde morreram cinco pessoas e a ponte sobre o rio Jacuí não resistiu a força das águas e caiu (Figura 10).

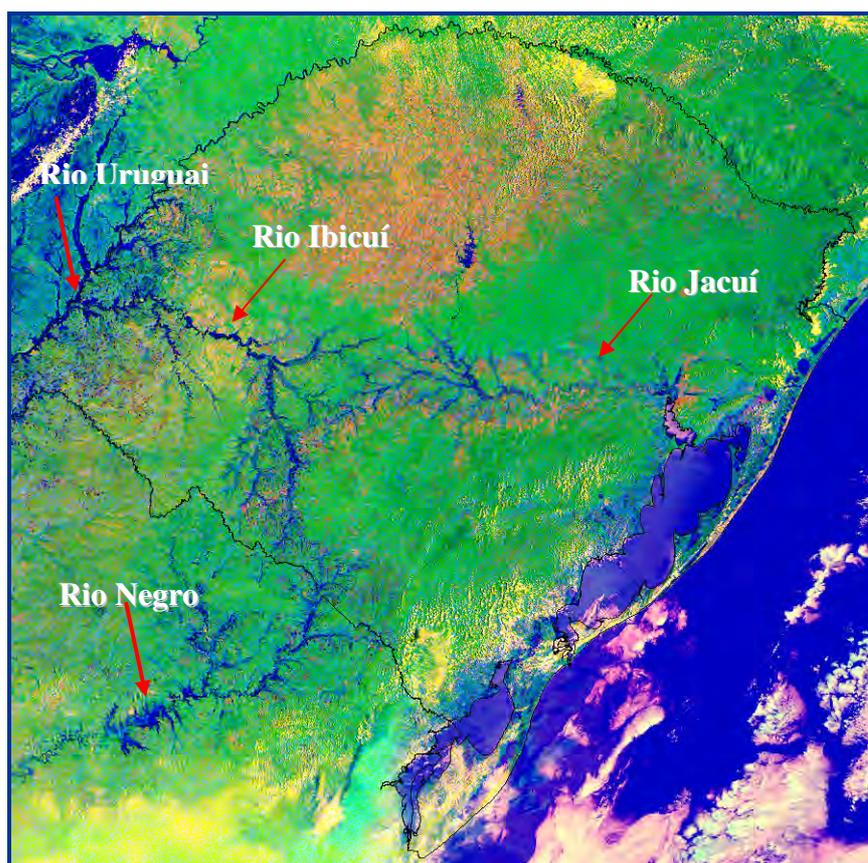


Figura 10-Imagem do sensor MODIS a bordo do satélite Terra de 29/11/2009, abarcando todo o estado do Rio Grande do Sul, onde se observam as inundações que atingiram as bacias do rio Jacuí, Ibicuí e Uruguai. O rio Negro no Uruguai também foi atingido por inundações nesta ocasião.

Como mostrado no Figura 10 este tipo de imagem é excelente para se ter uma visão geral de toda a área afetada, principalmente se a inundação atingir grandes extensões, mas não possibilita a análise de detalhes.

De forma oposta têm-se as imagens com resolução espacial maior como as do GEOEYE ou WORLDVIEW-2 (0,5 metros), que abarcam uma área menor, porém permitem que se analise em detalhes, como neste evento de inundação em Bangkok, na Tailândia, onde é possível distinguir-se as ruas, avenidas e a área residencial que foram afetadas pela inundação. Na porção central da imagem pode-se observar o engarrafamento produzido no viaduto pela inundação (Figura 11).

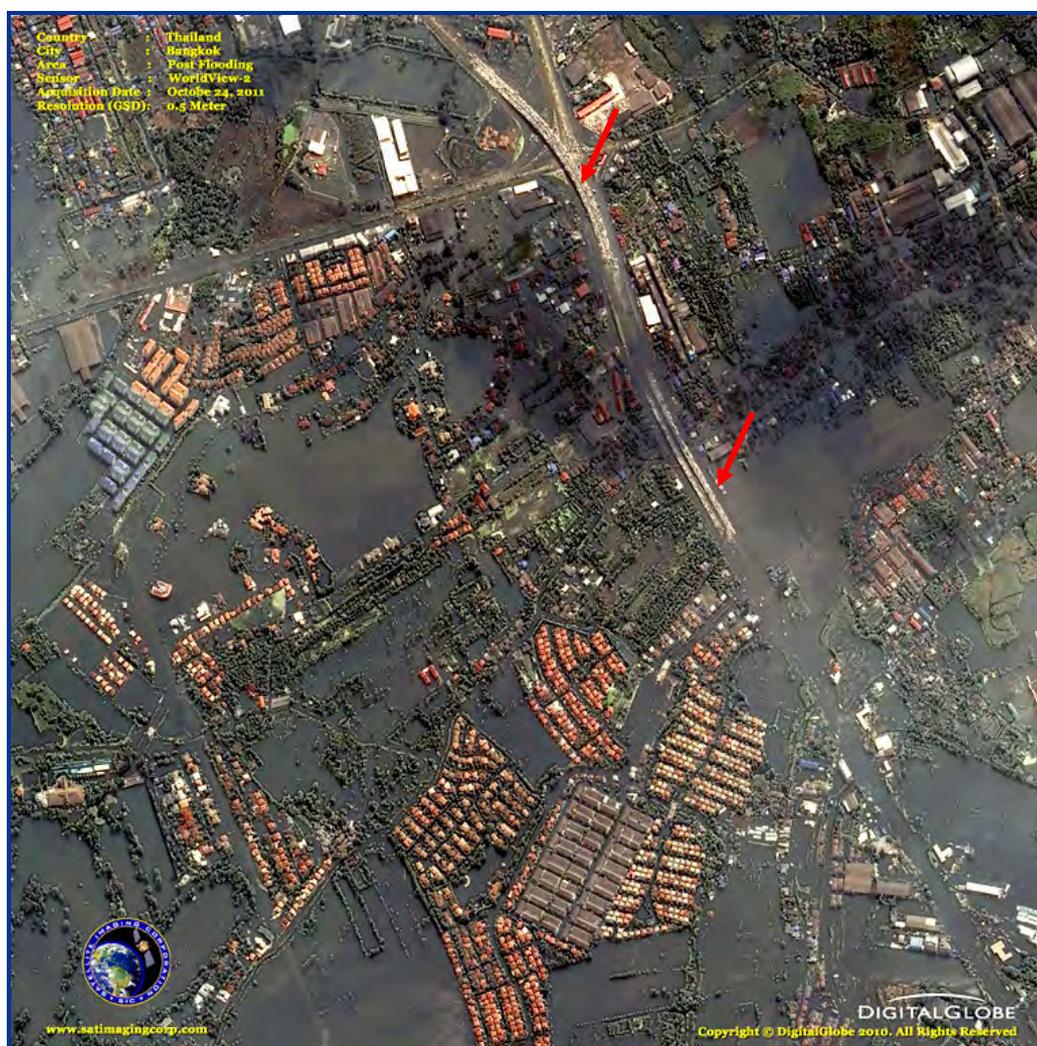


Figura 11-Imagem Worldview-2 de 24/10/2011 da cidade de Bangkok, Tailândia afetada por inundação, onde está salientado o engarrafamento no viaduto (setas vermelhas) produzido pela inundação.

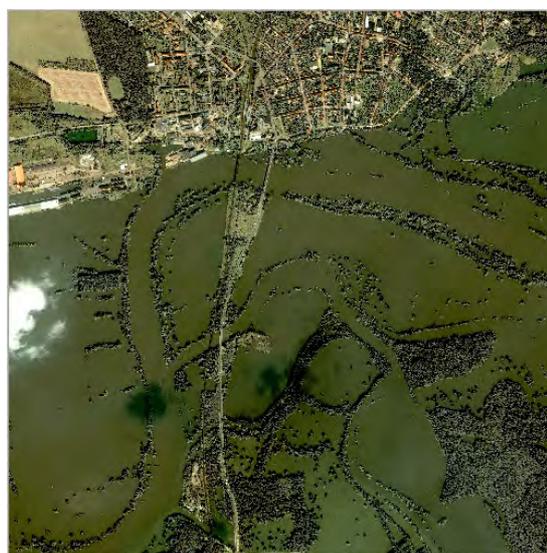
Fonte:<http://www.satimagingcorp.com/galleryimages/worldview-2-thailand-bangkok.jpg>

A **Resolução Temporal** se refere a frequência de cobertura que proporciona o sistema sensor, é a periodicidade com que o sensor adquire imagens da mesma porção da superfície terrestre. É o tempo decorrido pela plataforma, a qual transporta o sensor, para que ocorra o imageamento da mesma área de interesse (mesma órbita/ponto).

Este tipo de resolução permite que uma mesma área seja imageada várias vezes ao longo do ano. Tratando-se de eventos de inundação, esta resolução dá a possibilidade de obterem-se imagens de antes, durante e depois do evento (Figura 12).



21 de agosto de 2002



26 de agosto de 2002

Figura 12-Imagens IKONOS (1 metro) dos rios Elbe e Mulde ao norte de Dessau, Alemanha. A imagem a esquerda é de antes da inundação e a direita é do período de inundação.

As inundações graduais, quando as águas elevam-se de **forma paulatina** e **previsível** são **cíclicas** e **nitidamente sazonais**. Estão mais relacionadas a períodos prolongados de chuvas contínuas do que as chuvas intensas e concentradas, e caracterizam-se por sua **abrangência e grande extensão**. São típicas das grandes bacias hidrográficas e dos rios de planície.

Neste caso a resolução temporal possibilita que se construa uma **série histórica** destas inundações. Hoje já é possível ter séries de mais de trinta anos, uma vez que as imagens do satélite LANDSAT estão disponíveis em acervos do INPE e do USGS desde junho de 1973 (Figura 13).



24/09/1973



01/06/1986



08/09/1987



29/09/1989



27/09/2000



01/10/2007

Figura 13-Série histórica de inundações na bacia do Guaíba, com imagens LANDSAT-MSS e TM.

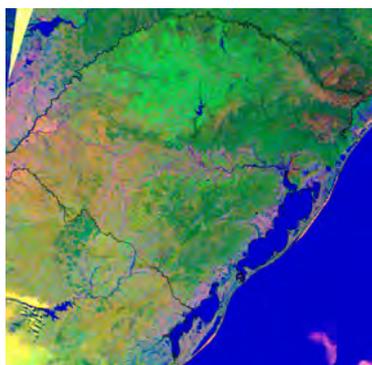
Com isto é possível identificar o período e o local de ocorrência das inundações, bem como obter informações sobre a sua magnitude em diferentes eventos, e verificar se está se modificando ao longo dos anos em função do

uso e cobertura do solo. Com as séries históricas é possível também averiguar se a frequência das inundações está aumentando ou diminuindo.

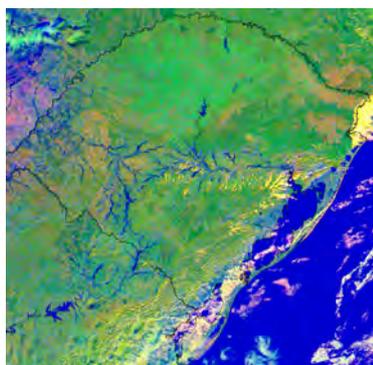
Pode-se também com os dados temporais identificar em que época do ano preferencialmente ocorre às inundações em uma dada área.

Alguns sistemas sensores coletam imagens diariamente sobre uma mesma região, é o caso do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua. Assim é possível, em um evento de inundação, fazer um acompanhamento diário, durante todo o seu período, e monitorar em tempo real a evolução do fenômeno e as áreas atingidas e comparar estas informações com os dados de vazão e nível do rio. Um exemplo é o monitoramento feito durante as inundações ocorridas no Rio Grande do Sul, no período de setembro de 2009 a Janeiro de 2010, quando foi feito um acompanhamento diário de evento, para análise e avaliação de danos.

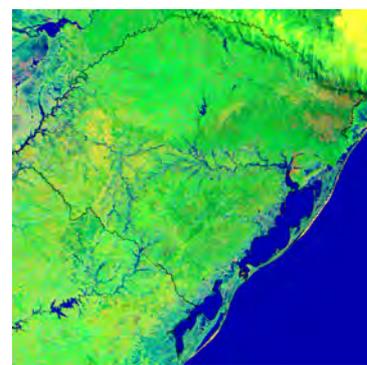
A Figura 14 apresenta a seqüência das imagens MODIS sem cobertura de nuvens para todo o período.



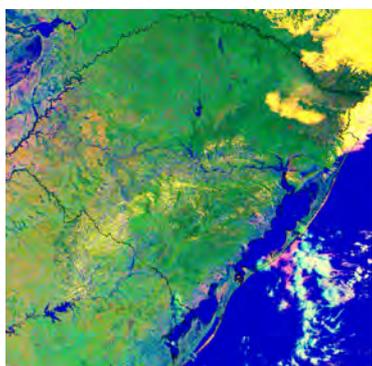
31 de agosto de 2009



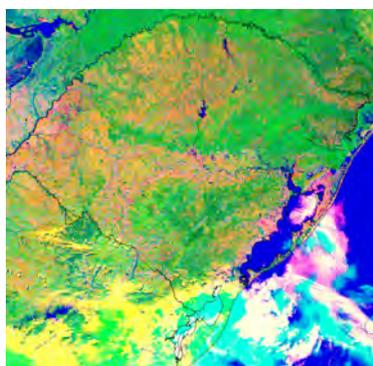
5 de setembro de 2009



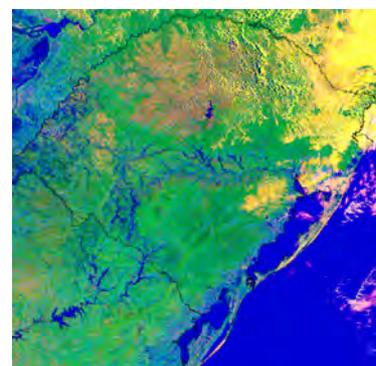
21 de setembro 2009



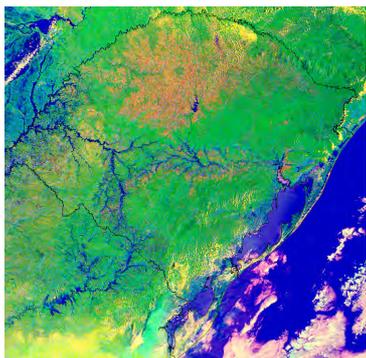
03 de outubro de 2009



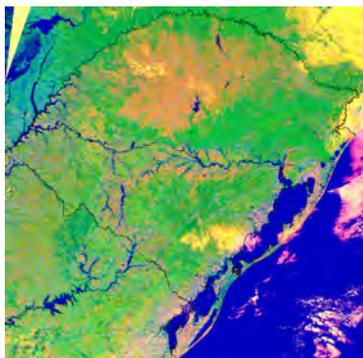
01 novembro de 2009



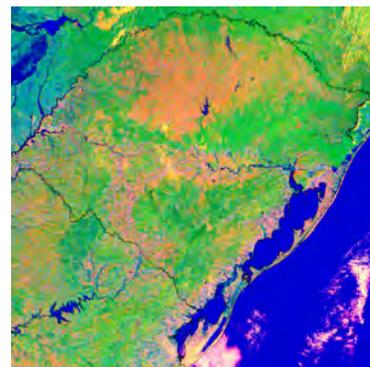
09 de novembro de 2009



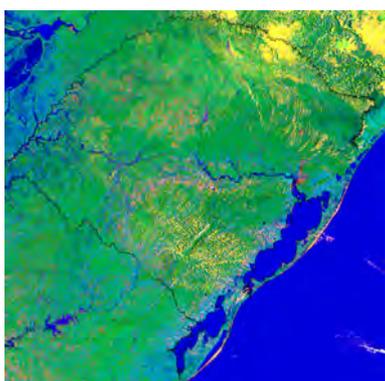
29 de novembro de 2009



5 de dezembro de 2010



18 de dezembro de 2009



14 de janeiro de 2010

Figura14-Sequência de imagens MODIS da inundação no rio Jacuí, RS, no período de agosto de 2009 a janeiro de 2010.

Utilizando esta sequência de imagens, em combinação com os dados de vazão dos rios e de precipitação, foi possível identificar o período de pico da inundação (29 de novembro de 2009), bem como caracterizar dois períodos da vazante, durante todo o processo (01 de novembro e 18 de dezembro de 2009) acompanhado logo em seguida por outro período de inundação, de diferente magnitude, janeiro de 2010. A queda da ponte do rio Jacuí ocorreu no dia 7 de janeiro de 2010, porém devido à grande cobertura de nuvens como consequência das chuvas intensas, não foi possível obter uma imagem desta data. Apenas em 14 de janeiro de 2010, uma semana após a queda da ponte, obteve-se uma imagem sem cobertura de nuvens.

## Aplicações de sensoriamento remoto para inundação

OLIVEIRA et al (2010) realizaram um estudo sobre a **“Espacialização e análise das inundações na bacia hidrográfica do rio Caí/RS”**, cujo objetivo era espacializar e analisar as inundações na bacia hidrográfica do rio Caí, RS, a partir de dados obtidos por sensoriamento remoto, dados fluviométricos e da aplicação de técnicas de geoprocessamento. Para o cálculo do tempo de retorno (TR) das cheias foram utilizadas séries históricas de cota de três estações fluviométricas. A análise dessas séries possibilitou o entendimento da distribuição sazonal das cheias na bacia.

Foram também utilizados dois modelos digitais de elevação (MDE), sendo que um foi elaborado a partir da interpolação das curvas de nível, pontos cotados e linhas de drenagem obtidos das cartas da DSG. O outro foi obtido a partir de dados do **Shuttle Radar Topography Mission-SRTM**, disponibilizados na forma matricial, com resolução de 90 m.

Por meio da interpretação de variáveis morfométricas, tais como declividade, curvatura e perfis do relevo, derivadas dos MDEs e de informações obtidas em trabalhos de campo, foi elaborado um mapa de referência dos limites da inundação ocorrida em 24-25/09/2007.

Posteriormente, as áreas de inundação, por elevação do nível dos cursos d'água, foram modeladas a partir dos MDEs SRTM e DSG. Os autores verificaram que mais de 75% dos eventos de grande magnitude na bacia do rio Caí ocorrem entre os meses de junho e outubro. A partir do mapeamento da inundação de 2007, eles observaram que os municípios mais afetados foram Montenegro e São Sebastião do Caí, e que existe uma tendência maior de inundações à margem esquerda do rio Caí, provavelmente em virtude da deflexão que ocorre no médio curso. De modo geral, os modelos de inundação superestimaram as áreas atingidas, mas representaram satisfatoriamente os locais de maior avanço das águas OLIVEIRA et al (2010).

As Figuras 15 e 16 mostram os mapas das áreas de inundação a partir dos MDEs do SRTM e da DSG.

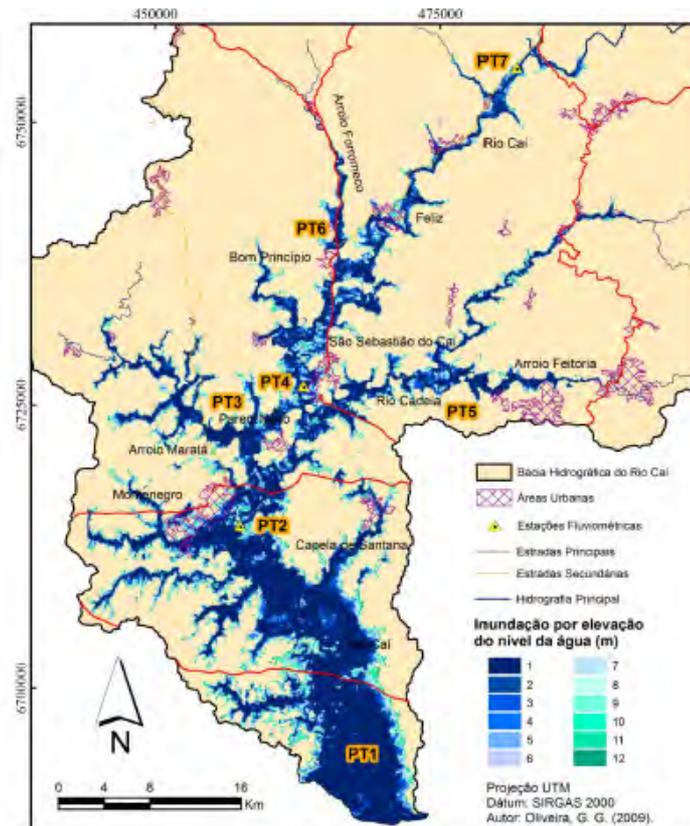


Figura 15-Mapas das áreas de inundação na bacia do rio Caí, RS, a partir do MDE do SRTM.

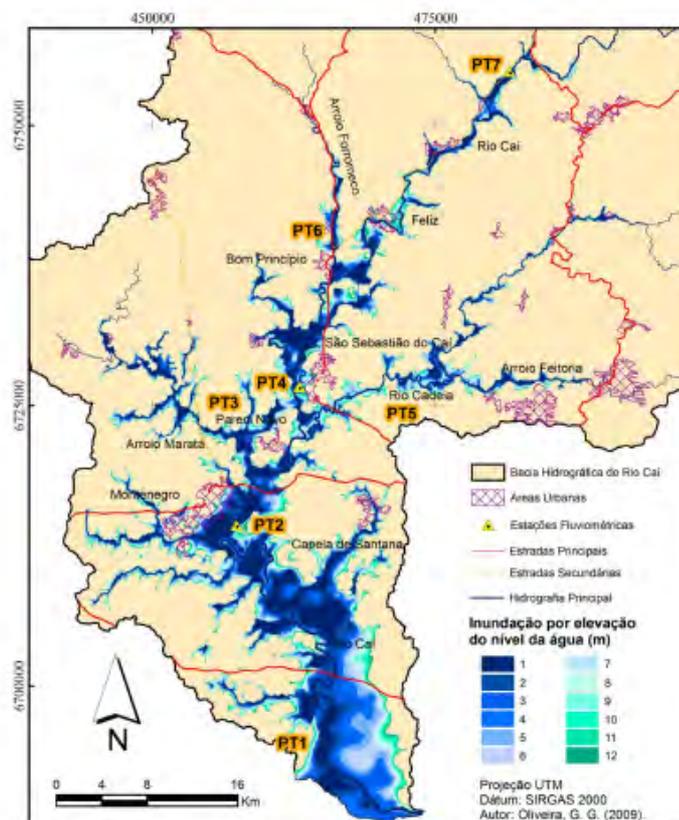


Figura 16-Mapas das áreas de inundação, na bacia do rio Caí, RS, a partir do MDE da DSG.

Um dos países, no mundo, que mais sofre com inundações é Bangladesh, na Ásia. Em 1988, este país foi afetado por uma das piores inundações já registradas, com um custo total de aproximadamente 2 bilhões de dólares e uma estimativa de que 45 milhões de pessoas foram diretamente afetadas (Brammer, 1990). Bangladesh está localizado na jusante da bacia de três rios o Ganges, o Brahmaputra e o Meghna (Figura 17). O país tem controle limitado sobre estas bacias, que se originam na Índia, e para ter uma previsão de inundações adequada e precisa depende de informações dos países vizinhos.

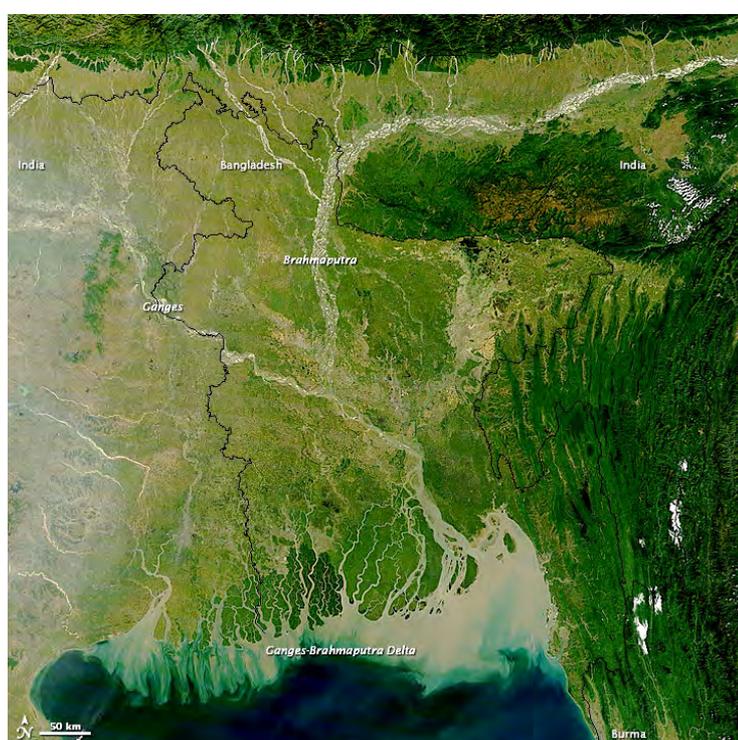


Figura 17– Bangladesh, as bacias dos rios Ganges, Brahmaputra e Meghna, o delta do Ganges Brahmaputra que desagua no golfe de Benagli, Ásia

Fonte: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=77364&src=eoaiotd>

Para fazer frente a esta situação Islam e Sado (2000) desenvolveram um estudo sobre **“Estimativa de ameaça de inundação utilizando imagens NOAA AVHRR em Bangladesh”**, onde foram utilizadas imagens de períodos de inundação x área normalmente coberta por água. As imagens de satélite aliadas a modelos digital de elevação mostraram-se bastante apropriadas uma vez que as inundações nas bacias dos rios Ganges, Brahmaputra e Meghna caracterizam-se pela grande magnitude, alta frequência, longa duração e extensiva devastação.

O objetivo do estudo era utilizar técnicas de sensoriamento remoto e SIG para:

- Construir um banco de dados sobre inundações;
- Mapas de áreas afetadas por inundação;
- Mapa de áreas prioritárias para futuros desenvolvimentos;
- Auxiliar as autoridades, planejadores e operadores de infraestruturas de controle de inundações.
- Auxiliar na preparação de operações de socorro e ajuda as vítimas nas áreas de alto risco em futuros eventos de inundação (Islam e Sado, 2000).

Para cobrir Bangladesh são necessárias três imagens NOAA/AVHRR (1,1 km de resolução espacial) e para este estudo foram utilizadas as imagens de 18/Setembro/1988 (inundação severa); 31/Outubro/1995 (evento de média intensidade) e 18/Setembro/1998 (inundação severa). Estas imagens foram as que apresentaram menor cobertura de nuvens em datas próximas ao pico de vazão dos três rios, e foram utilizadas para estimar a área inundada, a frequência com que eram inundadas e a profundidade da inundação, além dos dados de Modelo Digital de Elevação, divisões fisiográficas, geológicas e administrativas do país, bem como rede de drenagem e densidade populacional.

O cálculo da área inundada foi obtido pela razão entre o mapa de drenagem, onde constava a informação da área ocupada pela água (rio, lagos, açudes, reservatórios, etc.) em períodos normais e o mapa do total da área inundada. Com isto foi possível determinar que a inundação de 1988 cobriu 60% do país e a de 1998 afetou mais de 50%.

A frequência das inundações foi calculada utilizando as três imagens NOAA/AVHRR. Ela foi determinada para cada pixel da imagem como a razão do número de imagens dentro dos três eventos de inundação (1988, 1995 e 1998), mostrando a inundação para o total do número de imagens NOAA/AVHRR livre de nuvens com data próxima ao período de pico da inundação.

O conceito dos diferentes graus de freqüência é mostrado na Figura 18 onde a área que não aparece em nenhuma das três imagens mencionadas anteriormente foi considerada como área sem perigo (Non-hazard área).

A área na qual a inundação aparece uma única vez foi considerada de baixo perigo (Low hazard area). As áreas inundadas comuns que aparecem em duas imagens foram consideradas de médio perigo (MH-Medium hazard area) e aquelas que aparecem em todas as três imagens foram consideradas de alto perigo (HH-High hazard área).

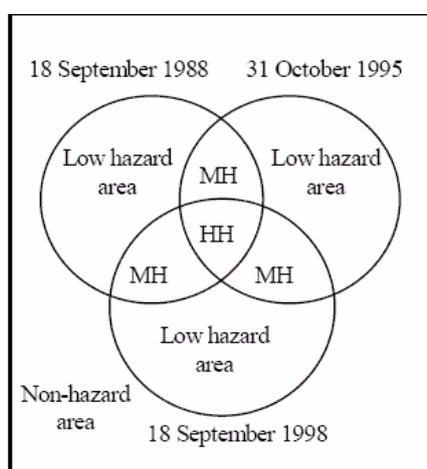


Figura 18-Conceito de frequência de inundação das áreas afetadas. Os círculos representam a área de água em cada imagem e o quadrado representa toda a área de Bangladesh

A figura 19 apresenta o mapa de frequência de inundações das áreas afetadas, onde a cor vermelha corresponde a área com alta frequência, o amarelo média frequência, o azul claro baixa frequência e o azul mais escuro área sem inundação.

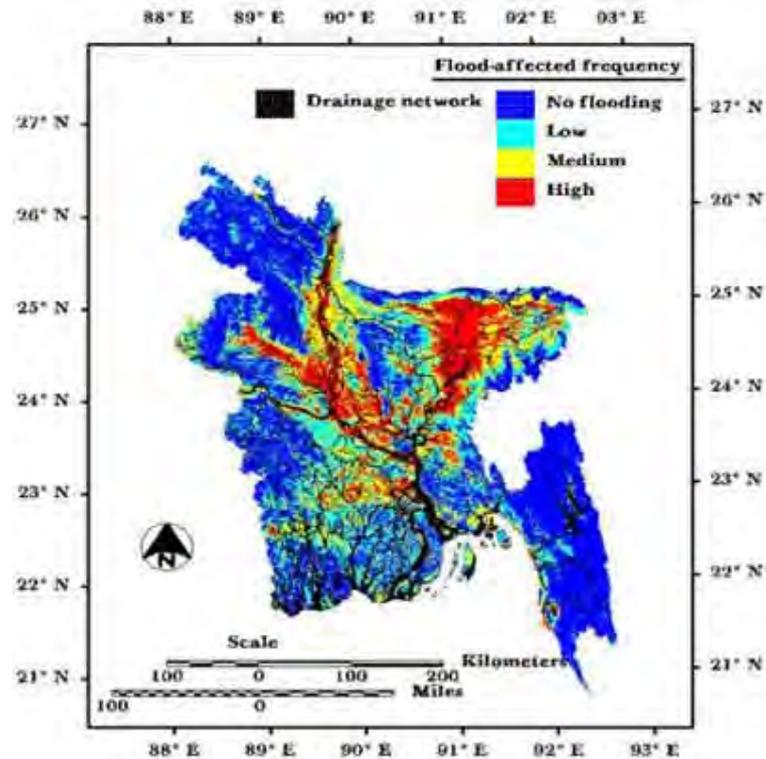


Figura 19-Mapa de frequência de inundação considerando os eventos de 1988, 1995 e 1998.

### Monitoramento de inundação utilizando imagens de radar

A importância das características de resolução espacial, espectral e temporal, acerca do monitoramento de inundações é fundamental para que os eventos de inundação possam ser analisados. Grande parte dos estudos efetuados para este fim, monitora eventos em larga escala, o que faz com que a resolução espacial adquira caráter secundário.

Com isto, há uma ampla gama de equipamentos sensores de radar imageador, a bordo de plataformas orbitais, além de sensores a bordo de aviões, denominados de aerotransportados.

Estes operam na região do espectro eletromagnético de microondas, ao contrário das imagens ópticas que operam na região do visível, ultravioleta e infravermelho próximo, médio e termal (Figura 20).

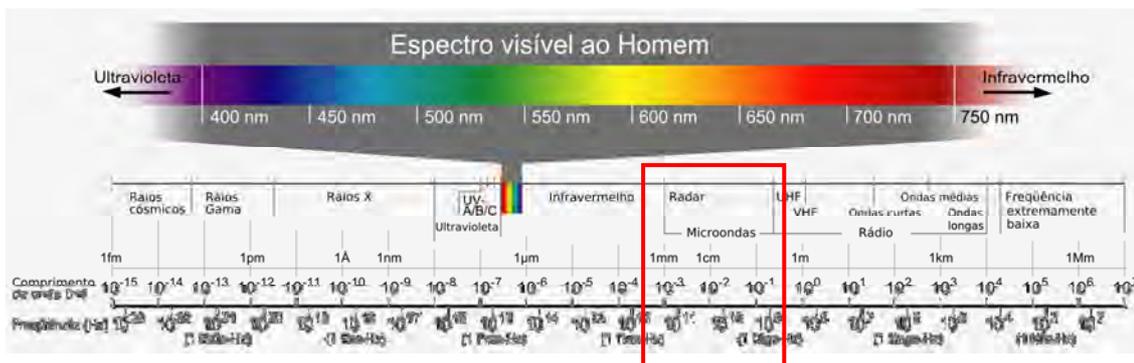


Figura 20 – Faixa de atuação dos sensores ópticos e microondas (radar).

Fonte: <http://sellerink.com.br/blog/series/harmonia-das-cores/>

Desde o advento das primeiras imagens de radar, por questões militares de defesa, a sua região de atuação foi particionada por bandas, sendo que as utilizadas para fins comerciais são, por ordem de comprimento de onda, usualmente medidas em centímetros, as bandas X (2,4 cm - 3,75 cm), C (3,75 cm - 7,5 cm), L (15 cm – 30 cm) e P (77 cm – 136 cm).

Além disto, as imagens são adquiridas seguindo o conceito de polarização, pois a onda eletromagnética emitida verticalmente pelo sistema sensor (emissão vertical - V), pode ser registrada em sua antena, tanto na forma vertical (polarização VV), quanto na forma horizontal (polarização VH). O mesmo conceito se aplica para a emissão e recepção horizontal (polarização HH).

Os sensores de radar possuem ainda o diferencial em relação aos sensores ópticos, que é uma geometria de observação (imageamento) de visada lateral, enquanto que no segundo as imagens são adquiridas próximas ao nadir. Esta característica se traduz em uma ampla gama de configurações, denominados como modos de aquisição, sendo que sua variação implica em diferentes faixas de imageamento (dimensão das imagens) e variação de ângulos de incidência.

O ângulo de incidência é conceituado por Jensen (2009), como:

- **“ângulo formado entre o pulso de radar de energia EM e uma linha perpendicular à superfície da terra, onde faz contato.”**
- **“é o melhor descritor da relação entre o feixe de radar e a inclinação da superfície.”**

Este ângulo varia de acordo com a largura da faixa de imageamento, sendo que sua variação é responsável pelo maior ou menor retorno da onda a antena do radar (intensidade do sinal – brilho). Todavia, isto não se traduz em perda de informação para o monitoramento de inundações, pois as superfícies inundadas e sem ondas “aparecem” na imagem como objetos escuros, devido a reflexão denominada como especular (Figura 21).

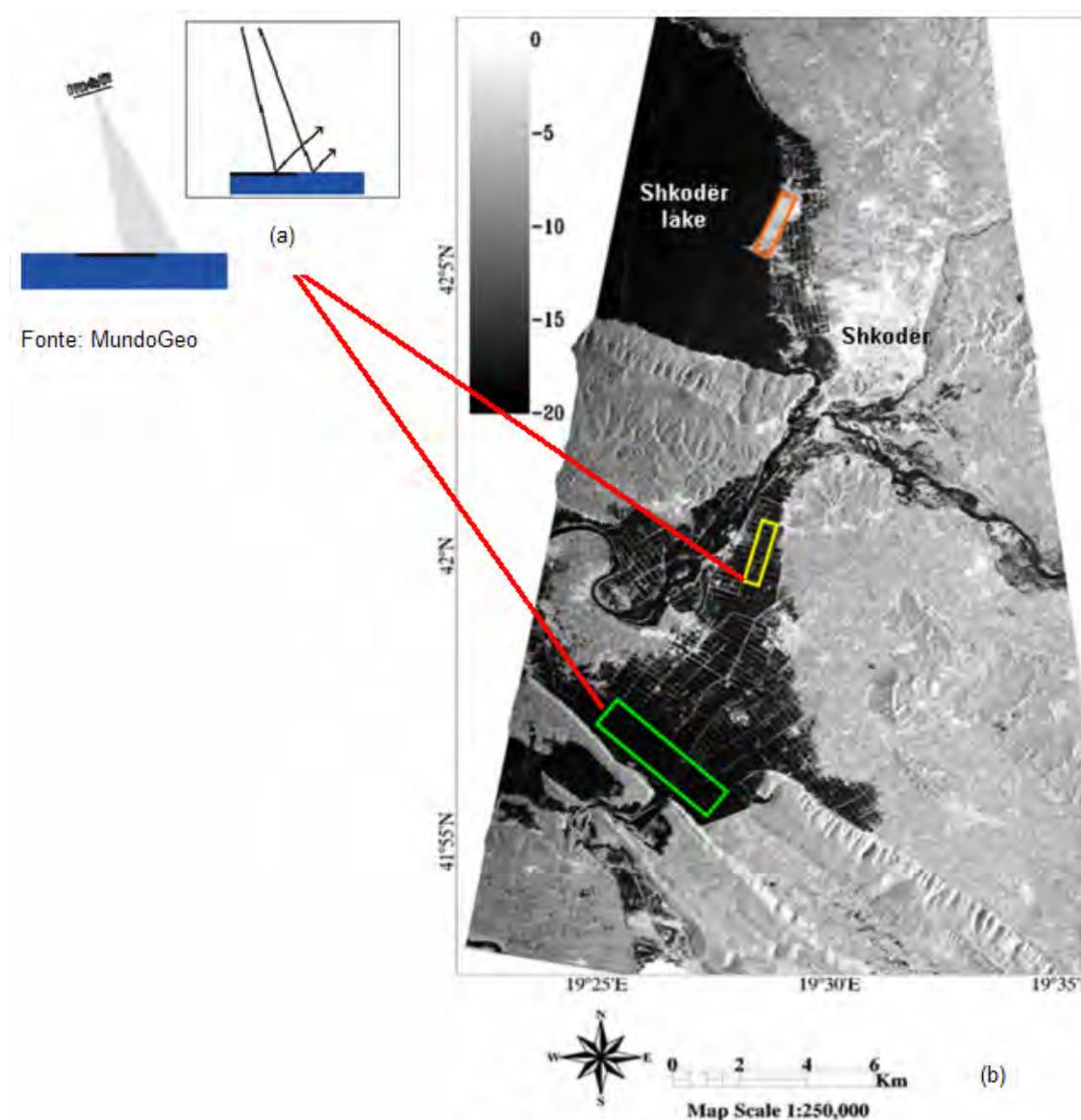


Figura 21–Desenho esquemático (a) representando a reflexão especular em uma área inundada (b) de uma imagem COSMO-SkyMed, modo StripMap, polarização HH, órbita descendente com ângulo de incidência no centro da cena de  $35,9^\circ$ .

Dado ao exposto, os radares imageadores, desenvolvidos para os mais diversos fins, entre estes o monitoramento de inundações, e que se encontram em operação, ou recém desativados por problemas técnicos, podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais sistemas sensores de radar operacionais.

Sistemas sensores	Faixa de operação	Resolução	Polarizações*
<b>ERS-2/AMI-SAR</b>	Banda C	≈ 30 m	VV
<b>RADARSAT-1</b>	Banda C	10 m - 100 m	HH
<b>ENVISAT/ASAR**</b>	Banda C	6 – 1000m	VV e HH; HH e HV; VV e VH
<b>ALOS/PALSAR**</b>	Banda L	7 – 100m	HH; HH+HV; HH+HV+VH+VV
<b>TerraSAR-X</b>	Banda X	1,1 – 18,5 m	HH ou VV; HH/VV; HH/HV; VV/VH
<b>COSMO-SkyMed</b>	Banda X	1 – 100m	HH ou VV; HH ou HV ou VH, ou HV; HH, VV ou HH,VH, ou VV, VH.
<b>RADARSAT-2</b>	Banda C	3 – 100m	HH, HV, VV e VH
<b>RISAT-1</b>	Banda C	1- 50m	HH e HV
<b>SAR R99B</b>	Banda X, L	3 – 18m	HH+HV+VH+VV
<b>ORBISAR-1</b>	Banda X, P	≥ 0,5 m (X); ≥1,5 m (P).	HH+HV+VH+VV
<b>Sentinel -1***</b>	Banda C	5-20m	Dual (HH+HV ou VV+VH)

\* polarizações disponíveis e resolução variam de acordo com o modo de aquisição.

\*\* desativados devido a problemas técnicos relacionados ao sensor/plataforma em abril de 2011 (ALOS/PALSAR) e maio de 2012 (ENVISAT/ASAR).

\*\*\*Previsto para ser lançado em 2013 (ESA).

A cobertura de nuvens é um grande problema para o estudo e monitoramento de inundações, uma vez que só corre inundações se há chuvas, e em havendo chuva há conseqüentemente cobertura de nuvens. A imagem GEOEYE mostrada na Figura 22 dá um exemplo claro dos problemas provocados pela cobertura de nuvem em situações de inundação. Uma solução para este problema é a utilização de imagens geradas por sensor que operam na região das microondas do espectro eletromagnético.

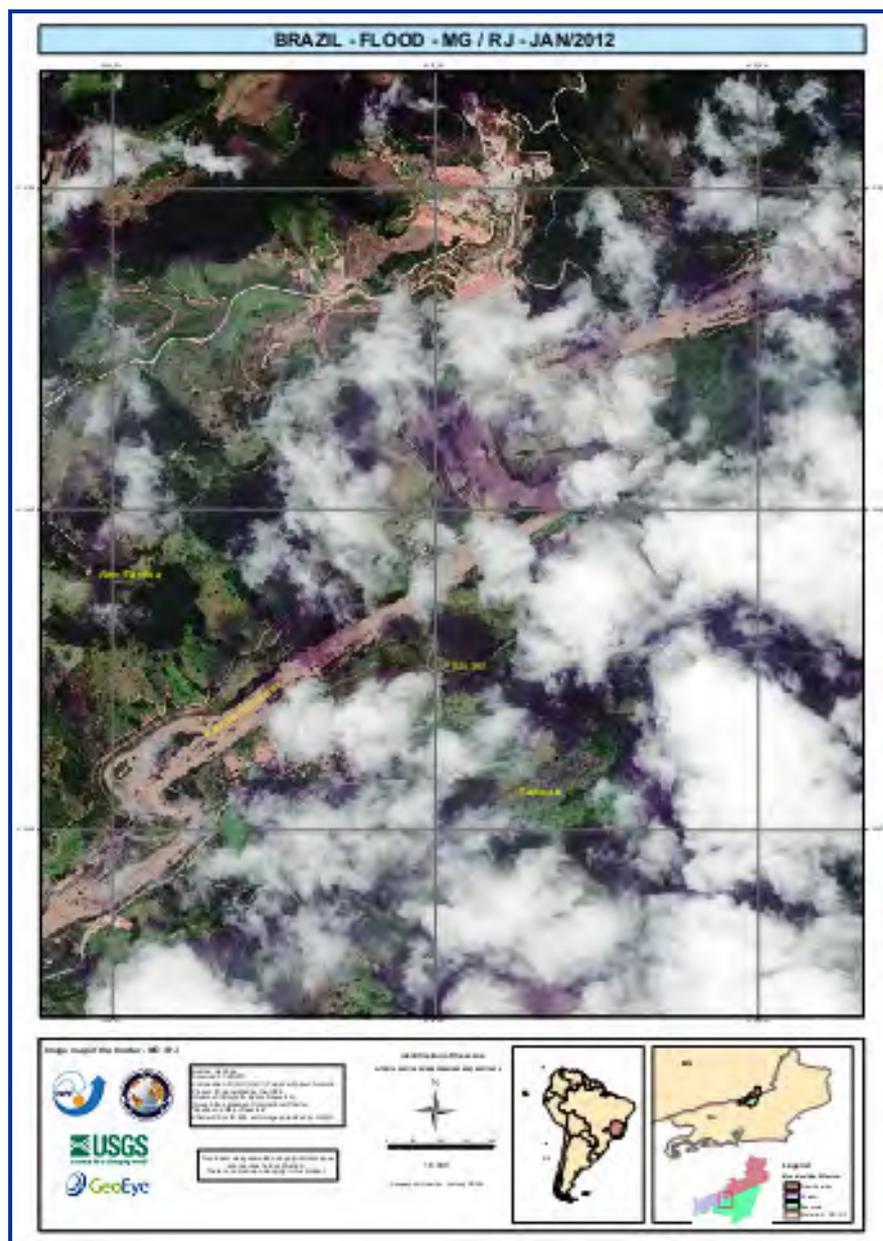


Figura 22-Imagem GEOEYE de 14 de janeiro de 2012 mostrando a área de inundação no rio Paraíba do Sul entre os municípios e Além Paraíba (MG) e Sapucaia (RJ).  
Fonte: The International Charter,  
[http://www.disasterscharter.org/image/journal/article.jpg?img\\_id=115372&t=1331637794523](http://www.disasterscharter.org/image/journal/article.jpg?img_id=115372&t=1331637794523)

Este tipo de limitação não é encontrado para os sensores de microondas, já que estas são consideradas indiferentes às condições atmosféricas, uma vez que a energia de microondas “atravessa” as nuvens e brumas, além de operar tanto de dia como à noite. Este tipo de sensor cria a sua própria energia eletromagnética (não necessita da luz do sol como fonte de energia, ou das propriedades térmicas da terra), sendo considerado por

definição como um sensor ativo. A influência das condições atmosféricas pode ser vista na Figura 23.

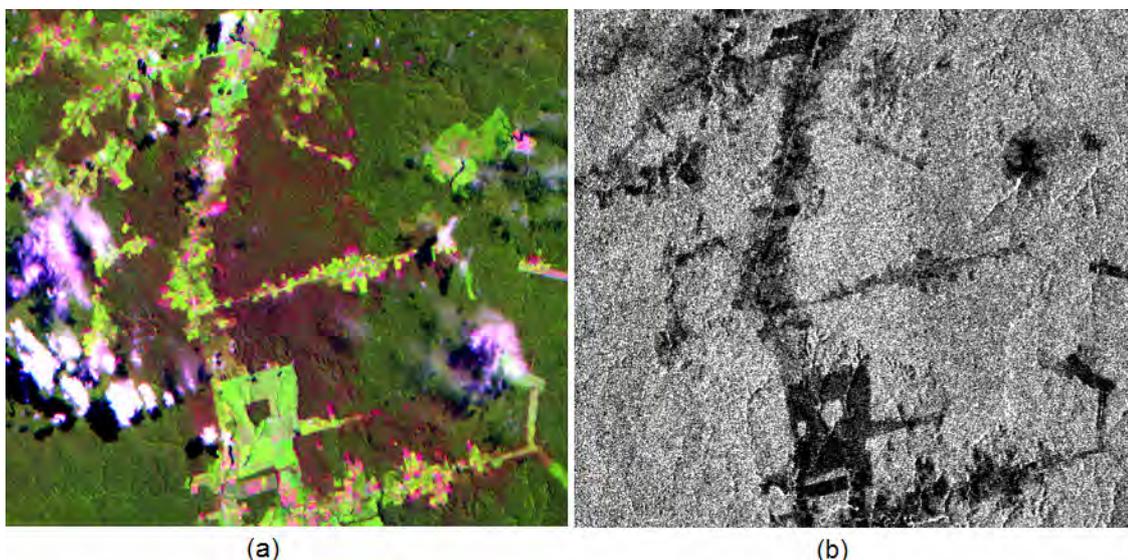


Figura 23—Efeito das condições atmosféricas (presença de nuvens e brumas) em uma imagem LANDSAT/TM – sensor óptico, composição 5R-4G-3B (a) e em uma imagem JERS-1 – sensor de microondas, polarização HH, adquiridas em uma mesma data.

Dada à importância deste tipo de evento, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é um dos membros da **Carta Internacional - Espaço e Grandes Desastres** (<http://www.disasterscharter.org>), que tem por objetivo melhorar a eficácia e a organização das operações de socorro nas regiões afetadas, prevenir acidentes e otimizar a reconstrução das infraestruturas destruídas por grandes desastres, fazendo uso de dados de sensoriamento remoto.

Os eventos considerados relevantes, os quais causam mortes e perdas materiais de grandes proporções, podem ser mapeados de forma emergencial via Charter. Isto é feito por intermédio de ativações de chamadas, onde imagens fornecidas em caráter emergencial pelas diversas agências espaciais membros, e são analisadas e os produtos gerados são disponibilizados em no máximo 48 horas para a Defesa Civil, exército, aeronáutica e grupos de salvamento e resgate. Como exemplo, tem-se a inundação ocorrida em 07 de janeiro de 2012, na região de Campos dos Goytacazes e arredores que pode ser vista na Figura 24.

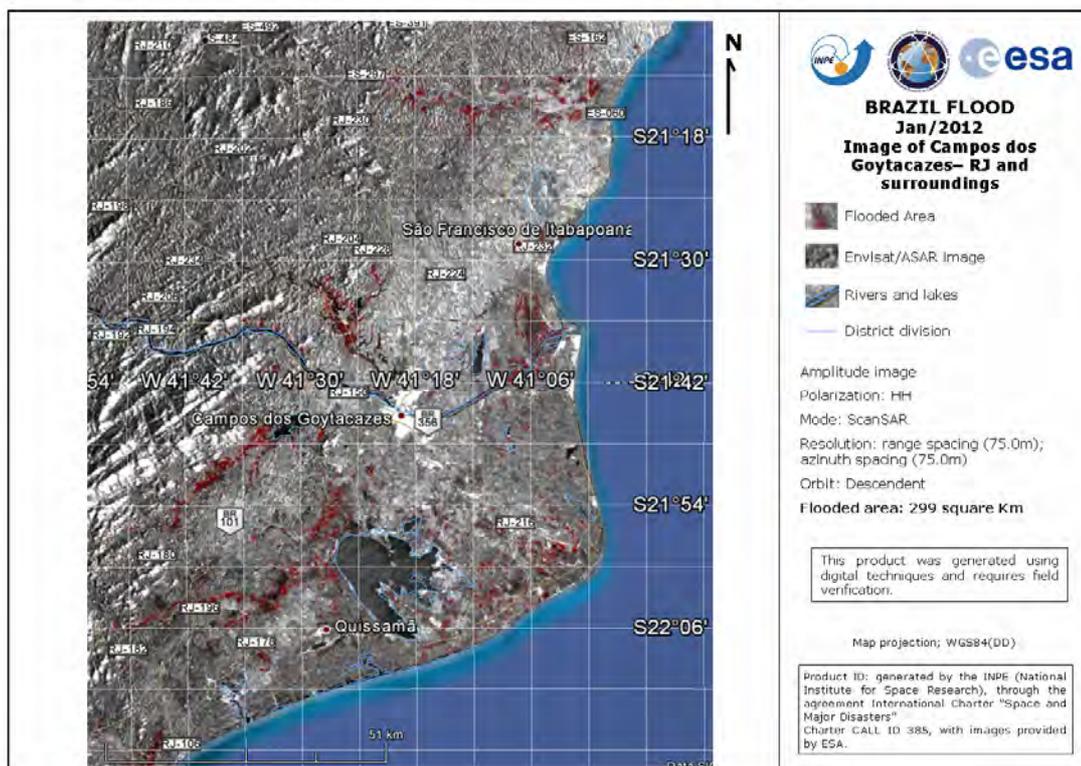


Figura 24-Mapa de inundação da região de Campos de Goytacazes, RJ, elaborado a partir de imagem Envisat/SAR de janeiro de 2012.

Fonte:

[http://www.disasterscharter.org/image/journal/article.jpg?img\\_id=115334&t=1331637749059](http://www.disasterscharter.org/image/journal/article.jpg?img_id=115334&t=1331637749059)

O monitoramento da mancha de inundação levou em conta duas imagens do sensor ENVISAT/ASAR, com polarização HH e resolução espacial de 75 metros. Para o mapeamento desta inundação levaram-se em consideração duas imagens multitemporais corrigidas (ortoretificadas), anterior e após o evento de inundação. Neste caso, os elementos de resolução (pixels) entre ambas devem ser iguais. Para a geração da região alagada, foram testados limiares sob as imagens amplitude, de tal forma que esta região corresponda às novas áreas com reflexão especular.

Outra perspectiva importante a se considerar, é a utilização de imagens multisensores, como as utilizadas na região do Vale do Itajaí-SC. O objetivo principal era mapear as áreas de ocorrência do evento e gerar um mapa temático de forma ágil (classificação), sem a utilização de informações de campo (amostras), para possibilitar um processamento rápido, onde os tomadores de decisão possam utilizá-lo como produto de análise (MARINHO et

al., 2011).

A variação temporal de ocorrência do evento, associado a reflexão especular (rios, lagos, manchas de inundações com superfícies não agitadas), utilizando imagens PALSAR/modo FDB, ENVISAT/ASAR, RADARSAT-2 e TerraSAR-X, podem ser vistas na Figura 25.

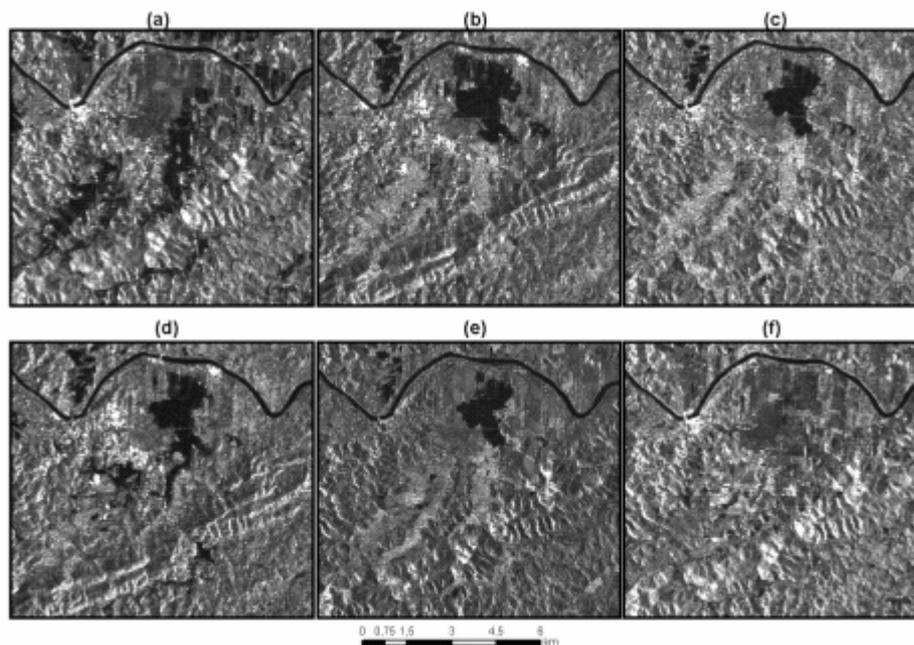


Figura 25-Varição temporal de uma área afetada pela inundação no município de Gaspar: (a) PALSAR/FBD de 15/Set; (b) ENVISAT/ASAR de 27/Nov; (c) RADARSAT-2 de 28/Nov; (d) RADARSAT-2 de 30/Nov; (e) TerraSAR-X de 01/Dez; (f) PALSAR/FBS de 31/jan 2009.

Fonte: Marinho et al. (2011).

Considerando como corpos de água as superfícies de menor retroespalhamento (cor preta), é possível observar a dinâmica de uma mancha de inundação (b, c, d, e), bem como a situação dos campos de rizicultura com lâmina de água antes (a) e depois das fortes chuvas (f).

Todavia, é necessário entender que muitas superfícies de inundações apresentam comportamento decorrente ao tipo de região inundada (relacionada as características físicas das superfícies).

O estudo de Arnesen et al. (2011) para a avaliação do potencial de imagens SCANSAR/ALOS no mapeamento da extensão total inundada na planície do Rio Amazonas apresenta este tipo de peculiaridade. Os alvos imageados nem sempre tem como característica principal a reflexão especular

como espalhamento dominante na cena.

De acordo Hess et al. (1990), nas áreas inundáveis os mecanismos dominantes de espalhamento decorrentes da interação com a radiação eletromagnética (REM) são: reflexão de canto, ou *double bounce*; espalhamento volumétrico, ou de dossel; e espalhamento de superfície.

Estes tipos de reflexão são descritas de uma forma esquemática, conforme a Figura 26, adaptada de Freeman e Durden (1998).

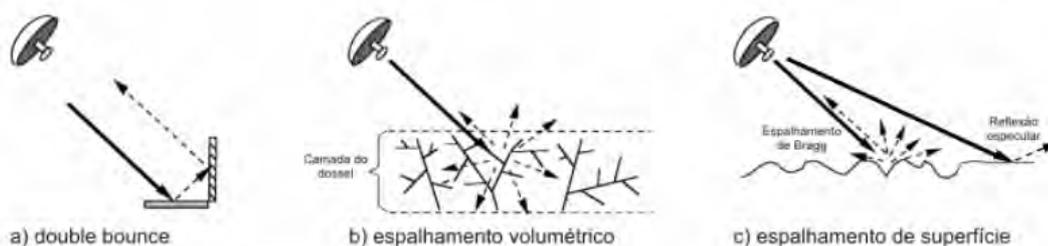


Figura 26 – Mecanismos de espalhamento: a) reflexão de canto (ou double bounce); b) espalhamento volumétrico (ou de dossel) e; c) espalhamento superficial.  
Fonte: Adaptado de Freeman e Durden (1998).

Durante um pico de inundação, o qual se refere ao período de maior precipitação em que as inundações atingem cotas máximas é possível verificar comportamentos distintos do sinal retroespalhado (REM que retorna ao sistema e é registrado pela antena do radar), conforme podem ser vistos na Figura 27 a e b.

Com a utilização da banda L, no caso de florestas inundadas ocorre uma intensificação da reflexão de canto, resultante da interação entre REM, os troncos e galhos e a superfície da água, o qual produz um aumento no retroespalhamento (maior brilho na imagem), Figura 27a.

Nas classes de água aberta com vento o mecanismo de espalhamento superficial predomina, sendo considerado superior a água aberta sem vento, já que com o aumento da rugosidade da superfície aumenta o sinal retroespalhado devido ao espalhamento do tipo Bragg, Figura 27b.

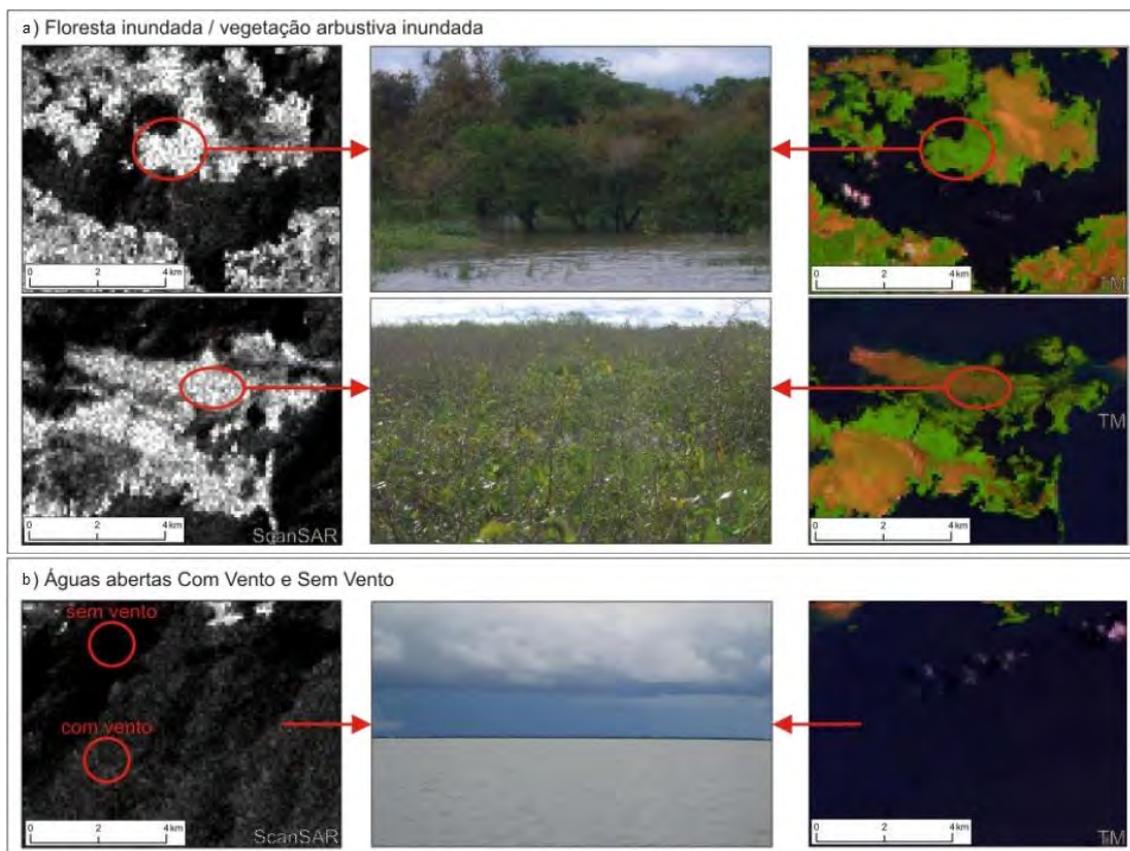


Figura 27 a e b – Fotografias registradas em campo de algumas classes definidas com base em imagens ScanSAR/ALOS (à esquerda) e TM/Landsat-5 na composição RGB-543 (à direita).

Fonte: Modificada de Arnesen et al. (2011).

Com base no exposto até o momento, o monitoramento das variações na inundação por meio de técnicas *in situ*   limitado devido a problemas de logística e acesso a estes ambientes remotos e, em muitos casos,   grande dimensão das áreas inundadas.

Com isto, conforme verificado nos trabalhos que utilizam o sensoriamento remoto como ferramenta para o monitoramento, esta   considerada a forma mais rápida e econ mica deste tipo de análise, os quais permitem mapear a dinâmica de inundação nas áreas inundáveis.

### **Avalia o de danos de inunda o utilizando geotecnologias**

O Instituto de Aplica es de Sensoriamento Remoto (IRSA) da Academia Chinesa de Ciências (CAS) e o Centro de Informa o do Estado desenvolveram um Sistema de Avalia o de Danos de Inunda o utilizando

sensoriamento remoto e SIG. Ele consegue fazer a avaliação de danos rapidamente e desempenha um importante papel no controle de inundações e na mitigação de desastres (Shi-rong et al, 2003). A Figura 28 apresenta o conceito do sistema.

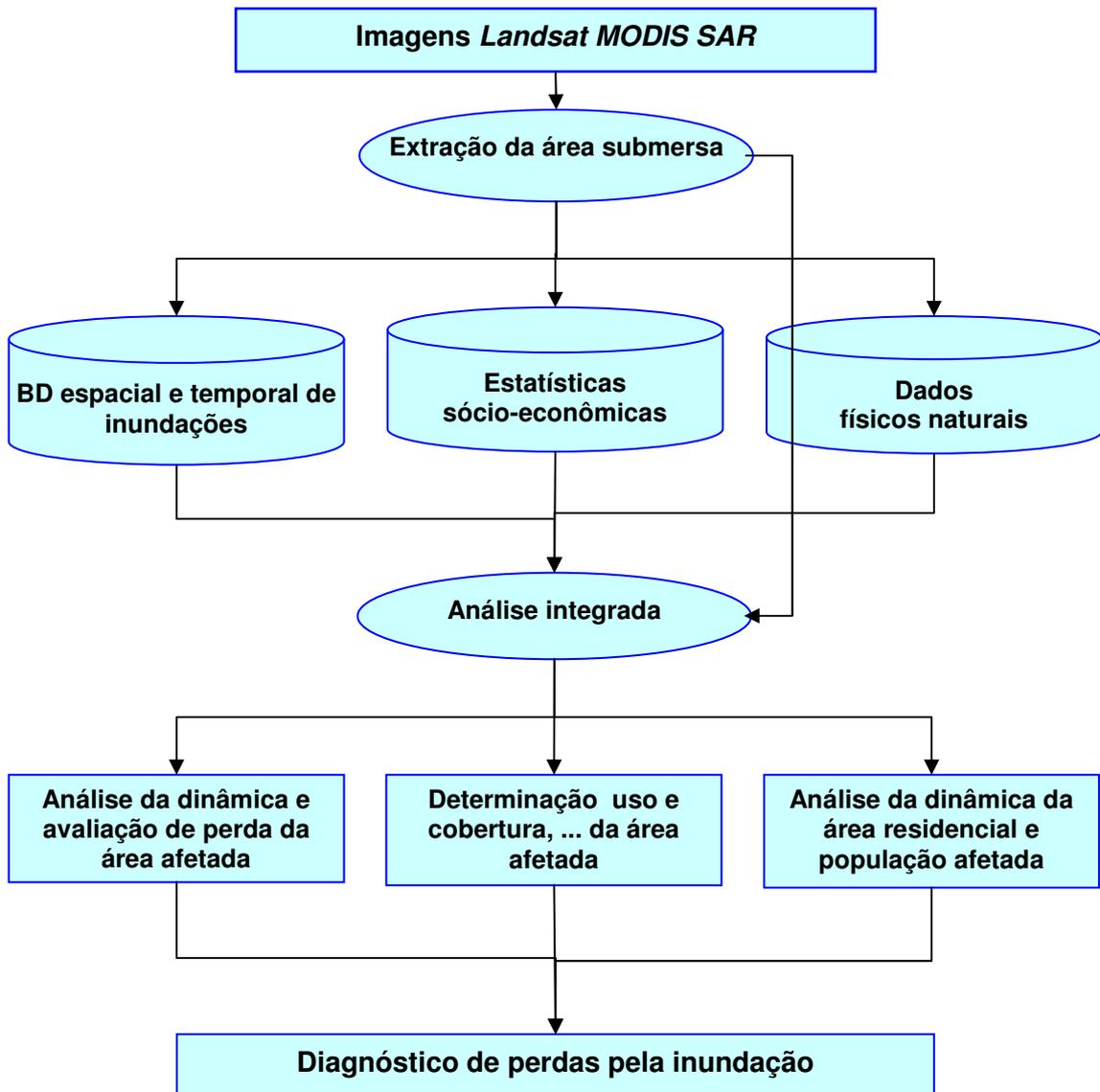


Figura 28-Sistema de avaliação de danos de inundação utilizando sensoriamento remoto e SIG

Fonte: Shi-rong et al, 2003

O sistema tem três características:

- Pode operar com dados adquiridos de várias plataformas de sensoriamento remoto (LANDSAT/TM, SAR, MODIS) e com imagens de várias resoluções espaciais (50m, 250m, etc). Os dados MODIS, devido

a sua alta resolução temporal são usados para avaliação de perdas de forma rápida e para grandes áreas, os dados LANDSAT/TM são utilizados para avaliação de perdas com relativa precisão enquanto as imagens SAR são utilizadas quando as imagens ópticas são limitadas devido à grande cobertura de nuvens, bastante comuns em eventos de inundação;

- O sistema pode adquirir rapidamente resultado de perdas por meio da sobreposição de dados de inundação e aqueles fornecidos pelas bases de Dados Espaciais Básicos e de Dados Estatísticos Sócio-Econômicos;
- O sistema pode processar análises históricas de inundações para estimar as perdas causadas por elas. A análise histórica pode ser usada para estimar perdas com vários modelos de avaliação de perdas por inundação;
- Possui sistema de saída multiforma, gerando tabelas, gráficos e imagens.

Este sistema mostra as vantagens de se utilizar dados de sensoriamento remoto e SIG para avaliação de danos causados por inundações. Ele começou a ser operado em 2001 e em dois anos já gerou relatórios de mais de 40 series de inundações, que foram entregues aos conselhos estaduais, ministérios e governos provinciais. O sistema tem apoiado atividades de prevenção de inundações e proporcionado grande apoio para ações por ocasião dos eventos.

## Referências Bibliográficas:

APPEL, F.; BACH, H.; Application of flood monitoring from satellite for insurances, VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, D-80333 München, Germany, [www.vista-geo.de](http://www.vista-geo.de)

ARNESEN, A. S.; SILVA, T. S. F.; HESS, L. L.; NOVO, E. M. L. M. Análise do potencial de imagens SCANSAR/ALOS para o mapeamento da extensão total inundada na planície do rio Amazonas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19, 2011, Maceió – Alagoas, **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Maceió-AL: ABRH, 2011. p. 1-19.

Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris%401916/2005/05.19.15.27/doc/publicacao.pdf>. Acessado em: 12 Ago 2012.

FREEMAN, A; DURDEN, S. L. “A three-component scattering model for polarimetric SAR data”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 36 (3), pp. 963-973. 1998.

HESS, L. L.; MELACK, J. M.; SIMONETT, D. S. “Radar detection of flooding beneath the forest canopy: a review”. International Journal of Remote Sensing 11 (7), pp. 1313-1325. 1990.

ISLAM, M. M.; SADO, K. (2000b). “**Flood Hazard Assessment for the Construction of Flood Hazard Map and Land Development Priority Map Using NOAA/AVHRR Data and GIS - A Case Study in Bangladesh**, GIS DEVELOPMENT

[http://www.gisdevelopment.net/application/natural\\_hazards/floods/floods002.htm](http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/floods/floods002.htm), acessado 04 02 2013

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: Uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução Epiphany, J. C. N. et al. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.DE 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; Ed. Organic Trading, 1º Edição, Curitiba, PR, pp109, 2006

KOBIYAMA, M; GOERL, R.F.; Identificação dos riscos, **Emergência**, Fev/Mar/2011, pp.48-50, [www.revistaemergencia.com.br](http://www.revistaemergencia.com.br), acessado em 27 dez. 2012

MARINHO, R. R.; PARADELLA, W. R.; OLIVEIRA, C. G.; SILVA, A. Q.; SANTOS, A. R. Aplicação de imagens SAR orbitais na identificação de inundações e escorregamentos de terra ocorridos no Vale do Itajaí-SC durante o desastre de 2008. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba-PR, **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Curitiba-PR:2011**. p. 8295-8302. ISBN 978-85-17-00056-0. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.29.12.43/doc/p0697.pdf>>. > Acessado em: 15 Ago 2012.

PULVIRENTI, L. et al. An algorithm for operational flood mapping from Synthetic Aperture Radar (SAR) data using fuzzy logic. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 11, p. 529-540, 2011.

SHI-RONG, C.; SHI-XIN, W.; QIN, Z.; CHUN, C.; Flood Loss Evaluation System Using Remote Sensing and GIS; Institute of Remote Sensing Applications, CAS, 0-7803-7929-2/03/\$17.00 (C) 2003 IEEEp. 2512-2513.