

# ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE ENCHENTES NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO RIO JACUÍ/RS COM A UTILIZAÇÃO DE IMAGENS *MODIS* E DADOS *SRTM*

Carline Biasoli Trentin, María Silvia Pardi Lacruz, Manoel de Araújo Sousa Jr., Vanessa  
Oliveira da Silva

Núcleo de Aplicação e Pesquisa de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos  
Geodesastres-Sul

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS) /

[\[carline.trentin,silvia.pardi.lacruz,manoel.sousa,vanessa.silva\]@crs.inpe.br](mailto:carline.trentin,silvia.pardi.lacruz,manoel.sousa,vanessa.silva@crs.inpe.br)

## Resumo

O objetivo do trabalho é avaliar a ocorrência de enchentes na área de abrangência do Rio Jacuí no Estado do Rio Grande do Sul para o ano de 2007 e sua relação com a altimetria e declividade do terreno, utilizando imagens *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e dados *SRTM* (*Shuttle Radar Topography Mission*). Nesse sentido, foi gerado o modelo digital de elevação com base na metodologia desenvolvida por Crepani e Medeiros (2004) e os mapas de declividade e hipsometria, utilizando a grade *SRTM*. Logo, foram coletados dados de precipitação mensal, disponibilizados pela Defesa Civil e em seguida realizada a classificação das imagens *MODIS* correspondentes aos meses de abril e setembro de 2007, sendo definida apenas a classe temática correspondente aos corpos de água. Posteriormente foi realizado o cruzamento dos planos de informação. A elaboração deste estudo permitiu determinar as áreas inundadas do Rio Jacuí. A partir da análise do mapa de declividade, observa-se a predominância da classe entre 0 e 5% principalmente ao longo dos cursos d'água, sendo que esta classe apresenta risco de inundação. As altitudes que correspondem à área em estudo variam de 0 a 1400 metros, sendo a classe hipsométrica de maior representatividade a de 0 a 200 metros, a qual se encontra principalmente no vale do Rio Jacuí. A partir do MDE foi possível identificar as áreas suscetíveis à ocorrência de inundação. O cruzamento dos planos de informação gerados observou-se a predominância dos terrenos alagáveis nas classes de declividade inferiores, demonstrando a suscetibilidade para problemas de inundação nestes locais. Assim, podem-se observar as vantagens destas ferramentas para estudos que se referem principalmente à área de planejamento e gerenciamento de áreas afetadas por desastres naturais.

**Palavras – chave:** Desastres naturais, enchentes, sensoriamento remoto

## Resumen

El objetivo del trabajo es evaluar la ocurrencia de inundaciones en el área adyacente del Río Jacuí en el estado de Río Grande do Sul para el año de 2007 y su relación con la altimetría y la declividad del terreno, siendo usadas las imágenes MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) y los datos SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Para ello, el modelo digital de elevación fue concebido teniendo en cuenta la metodología desarrollada por Crepani y Medeiros (2004) y los mapas de la declividad y de hipsometría, utilizando imágenes SRTM. Luego, han sido recogidos datos de la precipitación mensual, suministrados por la Defensa Civil y realizado la clasificación de las imágenes MODIS correspondiente a los meses de abril y septiembre de 2007, siendo definida solamente la clase temática correspondiente a los cuerpos de agua. Posteriormente fue realizada la intersección de los planes de información. La elaboración de este estudio permitió determinar las áreas inundadas del Río Jacuí. A

partir del análisis del mapa de la declividad, se observa principalmente el predominio de la clase entre 0 y el 5% a través de los cursos de agua, siendo que, esta clase presenta riesgo de inundación. Las altitudes que corresponden al área en estudio varían de 0 a 1400 metros, siendo la clase hipsométrica de mayor representatividad la de 0 a 200 metros, la cual se encuentra principalmente en el valle del Río Jacuí. A partir del MDE fue posible identificar las áreas susceptibles a la ocurrencia de inundaciones. Con el cruzamiento de los planes de información generados se observó el predominio de las tierras con riesgos de inundación las de declividad menor y con ello, demostrando la susceptibilidad para los problemas de inundación en estos lugares. De esta manera, se puede observar las ventajas de estas herramientas para el estudio que se refiere principalmente a superficies de planeamiento y gestión de áreas afectadas por desastres naturales.

**Palabras - llave:** Desastres naturales, inundaciones, sensoriamiento remoto

## **Introdução**

O espaço geográfico é transformado por meio da atuação humana, sendo alvo constante de modificações e reestruturações, precisando ser organizado para que atenda as necessidades constantes da sociedade. A presença humana no ambiente faz com que a ocorrência de desastres naturais seja significativa, existindo uma crescente necessidade de se apresentar soluções e estratégias que minimizem e revertam os efeitos da degradação ambiental.

Com o aumento da população e da industrialização, ocorre uma maior concentração de pessoas nas cidades e com isso a ocupação em terrenos ribeirinhos, o que ocasiona problemas relacionados a enchentes, provocando danos ao meio ambiente e a população que vive nestes locais.

Todos os rios possuem sua área natural de inundação, porém a presença do homem dentro destes limites naturais causa um aumento da susceptibilidade a enchentes. Estes são processos naturais no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos, porém aumentam sua frequência e magnitude devido a ocupação do solo e uma possível modificação na impermeabilidade da superfície.

### **1. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é utilizar imagens *MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)* e dados *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* para avaliar a ocorrência de enchentes na área de abrangência do Rio Jacuí no Estado do Rio Grande do Sul para o ano de 2007 e sua relação com a altimetria e declividade do terreno.

## **2. Revisão bibliográfica**

De modo geral, a relação entre o homem e a natureza determina a ocorrência de desastres naturais. Segundo CASTRO (1998), desastre é definido como “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e conseqüentes prejuízos econômicos e sociais”.

A interferência humana altera as condições de sustentabilidade do meio, potencializando a ocorrência de desastres naturais, destacando-se neste trabalho as enchentes. Estas são resultantes principalmente da ocupação inadequada do leito maior dos rios e da urbanização das cidades (TUCCI, HESPANHOL, CORDEIRO NETTO, 2003). As enchentes são determinadas em função da elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal, sendo muitas vezes utilizado como sinônimo de inundação (CASTRO, 1998).

A fim de contribuir para o estudo de sistemas ambientais, o geoprocessamento atua como um conjunto de tecnologias direcionadas para a coleta e o tratamento das informações espaciais, disponibilizando instrumentos, recursos e dados para que se possa determinar a evolução temporal e espacial de um determinado fenômeno geográfico e suas interrelações (ROCHA, 2000). Para tanto, utiliza-se de ferramentas computacionais, denominadas sistemas de informações geográficas (SIG) as quais permitem realizar análises complexas, integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados, tornando possível a produção de documentos cartográficos (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

A partir de imagens de satélite, o geoprocessamento constitui-se, em um importante instrumento no planejamento de ações ambientais, sendo uma das ferramentas mais utilizadas para o monitoramento, fornecendo informações do ambiente, através de registro e da análise dos dados referentes a superfície terrestre (CÂMARA & MEDEIROS, 1998; ROCHA, 2000).

O sensoriamento remoto representa uma ferramenta importante para a obtenção de dados básicos e espaciais, para realização de tarefas de proteção do ambiente natural, bem como para decisões de planejamento, fornecendo estruturas básicas para a observação do meio (BLASCHKE & KUX, 2005), sendo definido como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos da superfície, sem que haja contato direto entre eles, por meio de sensores capazes de coletar dados dos

objetos, a fim de extrair as informações desejadas (NOVO, 1998). Dentre os dados de sensoriamento remoto, destacam-se as imagens do sensor *MODIS* e as imagens *SRTM*.

O sensor *MODIS* é um dos cinco sensores a bordo dos satélites *TERRA* e *AQUA* do programa *EOS* (*Earth Observing System* – Sistema de Observação da Terra) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Este sensor trabalha com 36 bandas espectrais cobrindo o espectro eletromagnético da região do visível ao infravermelho termal e fornecendo imagens com resolução espacial para as bandas 1 e 2 de 250 metros; 500 metros para as bandas de 3 a 7 e 1Km para as outras bandas (SOUSA JR. & PARDI LACRUZ, 2006).

O sensor *MODIS* possui resolução espacial moderada e alta resolução temporal (COSTA & SOUZA JR., 2005). As imagens *MODIS* podem ser adquiridas gratuitamente em formato *HDF* (*Hierarchy Data Format*) já georreferenciadas e corrigidas para efeitos atmosféricos.

Os dados *SRTM* têm por objetivo gerar um modelo digital de elevação da Terra usando a interferometria, a qual compara duas imagens de radar tomadas de pontos diferentes para obter elevação ou informação de mudanças na superfície. (ESTEIO, 2007). Na missão *SRTM* foram usadas duas antenas receptoras *SAR*, bandas C e X (*C/X-Band Synthetic Aperture Radar*), com as quais foram possível gerar modelos tridimensionais com amplitude de 90 metros (SILVA & SANTOS, 2007). As imagens *SRTM* podem ser adquiridas gratuitamente, através da *NASA/USGS* (*United States Geological Survey*).

### **3. Material e método**

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados documentos cartográficos disponibilizados pelo IBGE na escala 1:500.000. Com a finalidade de obter os mapas temáticos, foi criado um banco de dados georreferenciados no *software* Spring versão 4.3.3, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Primeiramente, foram coletados dados de precipitação mensal da área, disponibilizados pela Defesa Civil do estado do Rio Grande do Sul, observando os meses em que ocorreram precipitações mais intensas. Posteriormente, foram realizados o georreferenciamento e mosaico das imagens *MODIS* no aplicativo *Modis Reprojection Tools* (*MRT*). O próximo passo foi fazer a classificação digital das imagens correspondentes aos meses de abril e setembro de 2007 (Figura 1), meses de menor e

maior volume de precipitação, onde foi definida apenas a classe temática correspondente aos corpos de água, esse processamento foi feito no software SPRING.

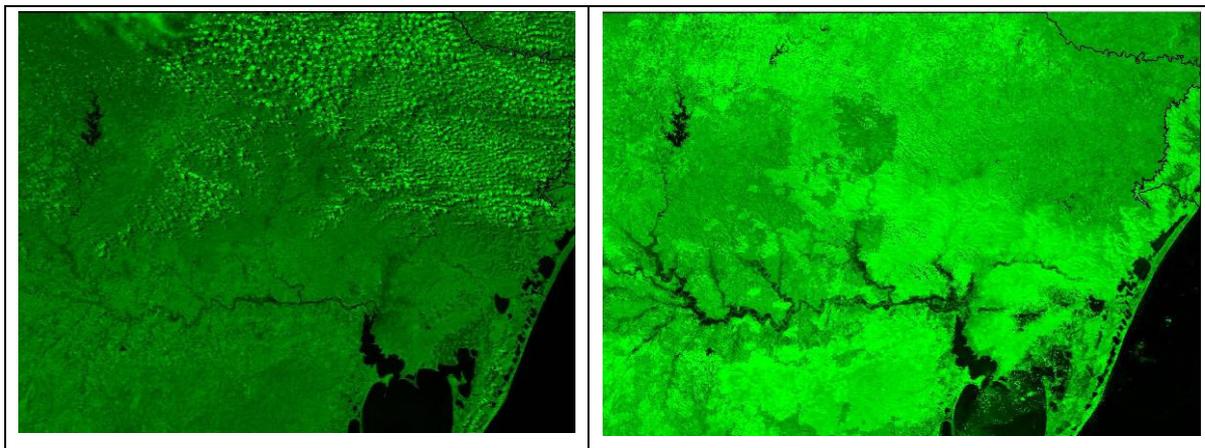


Figura 1: Imagens EVI MODIS de 10 abril e 22 setembro (2007)

Em seguida fez-se o processamento das imagens *SRTM*, que passou de uma resolução original de 90 metros para uma resolução de 15 metros, e sob essa nova imagem foi obtido o modelo digital de elevação do terreno. A partir deste modelo de elevação foram gerados os mapas de hipsometria e declividade.

O modelo digital de elevação foi gerado seguindo a metodologia desenvolvida por CREPANI & MEDEIROS (2004), onde foram criadas imagens sombreadas, atribuindo-se a cada uma diferentes valores de ângulo azimutal, ângulo de elevação e exagero de relevo. A imagem sombreada com azimute de  $135^\circ$  foi associada a cor verde (G), com elevação de  $45^\circ$  e exagero de relevo igual a 10 e a cor vermelha (R) foi associada à imagem sombreada com azimute de  $225^\circ$ , elevação de  $45^\circ$  e exagero de relevo igual a 10. Nessa combinação as encostas voltadas para leste apresentam-se coloridas em matizes de verde e as encostas voltadas para oeste, em matizes de vermelho enquanto as áreas planas apresentam-se em amarelo.

Para a elaboração do mapa hipsométrico dividiu-se a área em sete classes, com equidistância entre as curvas de nível de 200 metros em função dos valores altimétricos observados na grade regular, sendo elas de: 0 – 200m, 200 – 400m, 400 – 600m, 600 – 800m, 800 – 1000m, 1000 – 1200 e 1200 – 1400, onde foram atribuídas cores a cada classe altimétrica.

Para a elaboração do mapa de declividade foram delimitadas seis classes temáticas, considerando a legislação que rege as formas de uso e ocupação do solo. Assim foi determinada a classe de declividade correspondente até 5%, que compreende as áreas favoráveis ao uso e ocupação, porém podem apresentar risco de inundação. A

classe de declividade entre 5 e 12%, compreende as áreas que já apresentam alguma restrição de uso e ocupação e delimitam o emprego da agricultura mecanizada.

A classe correspondente entre 12 e 30% engloba as áreas que devem ser evitadas para ocupação, sendo passíveis de ocorrência de riscos geoambientais. A classe compreendida entre 30 e 47% representa as áreas inadequadas à construção civil, utilização agrícola e limite para corte florestal, apresentando riscos de escorregamentos por interferência antrópica. A classe com declividade superior a 47% abrange as áreas inadequadas a utilização, definidas como áreas de preservação florestal.

Posteriormente foi realizado o cruzamento dos planos de informação com o intuito de analisar a relação da altimetria e a declividade do terreno com os problemas relacionados a enchentes.

#### 4. Resultados

A elaboração deste estudo permitiu determinar as áreas com ocorrência de enchentes no Rio Jacuí no estado do Rio Grande do Sul, para o ano de 2007. A partir da coleta de dados referente à precipitação mensal na área (Figura 2), observou-se no mês de setembro de 2007 um aumento no índice pluviométrico acentuado (1.699,5mm), sendo que o menor índice ocorreu no mês de abril (596,5mm).

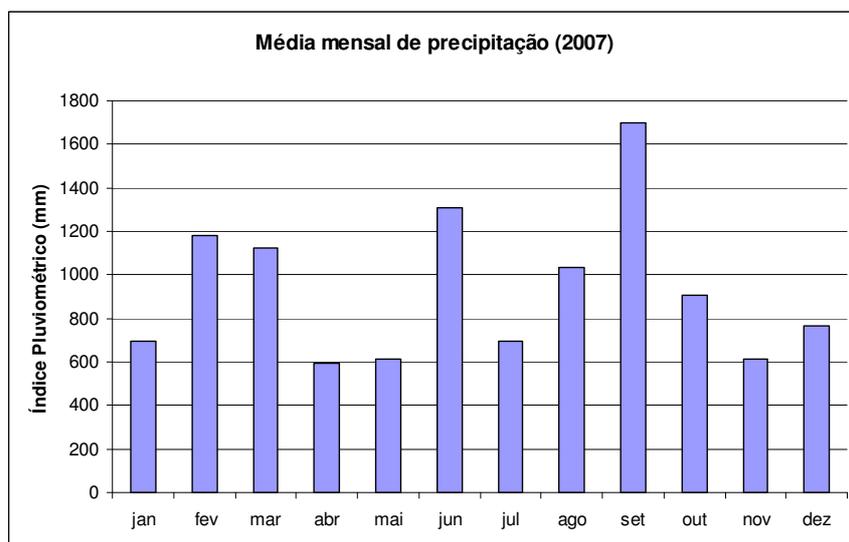


Figura 2: Médias mensais de precipitação para o ano de 2007

Com o processamento das imagens *SRTM* foi elaborado o modelo digital do terreno (Figura 3), o qual é considerado importante para a análise geográfica, sendo uma representação matemática da distribuição espacial das variações de altitude em uma área. O modelo de elevação do terreno do *SRTM* serve de base para o trabalho

desenvolvido e permite uma melhor visualização das formas de relevo da área. A partir do MDE foi possível identificar as áreas suscetíveis à ocorrência de enchentes.

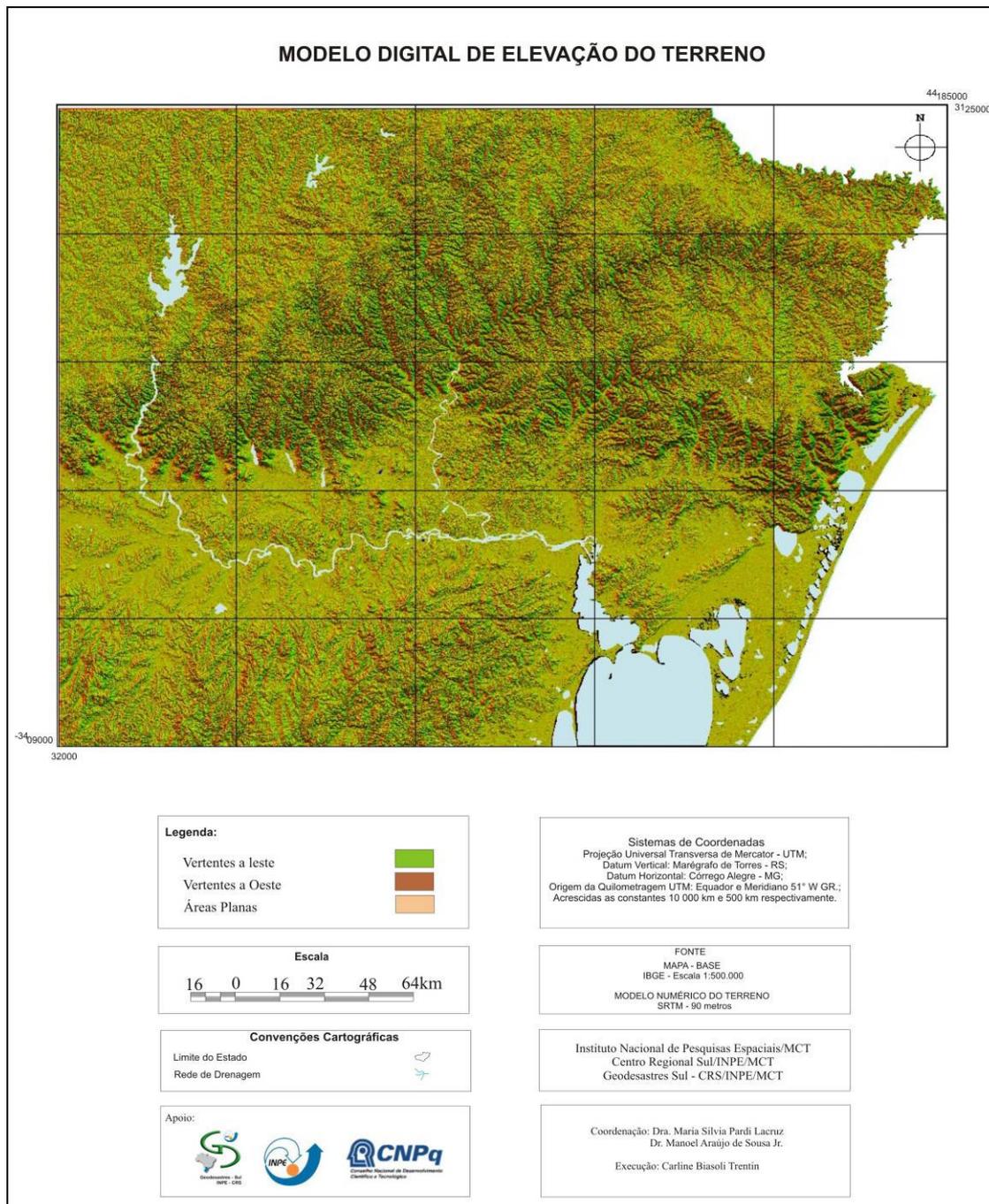


Figura 3: Modelo digital de elevação gerado a partir de imagens *SRTM*

A partir da análise do mapa de declividade (Figura 4), observa-se a ocorrência da classe entre 0 e 5% (33,85%) principalmente ao longo dos cursos d'água, sendo que esta classe compreende as áreas favoráveis ao uso e ocupação e com risco de inundação.

Observa-se porém, no restante da área a predominância das classes de declividade superiores (Figura 5), entre 5 e 12% (32,9%), principalmente nas porções norte à montante do Reservatório Passo Real e na porção sul do Rio Jacuí. 12 e 30%

(23,47%) e 30 e 47% (9,55%), devido à localização no rebordo do planalto e em áreas de serra, sendo que a classe entre 47 e 100%, não teve representação na área.

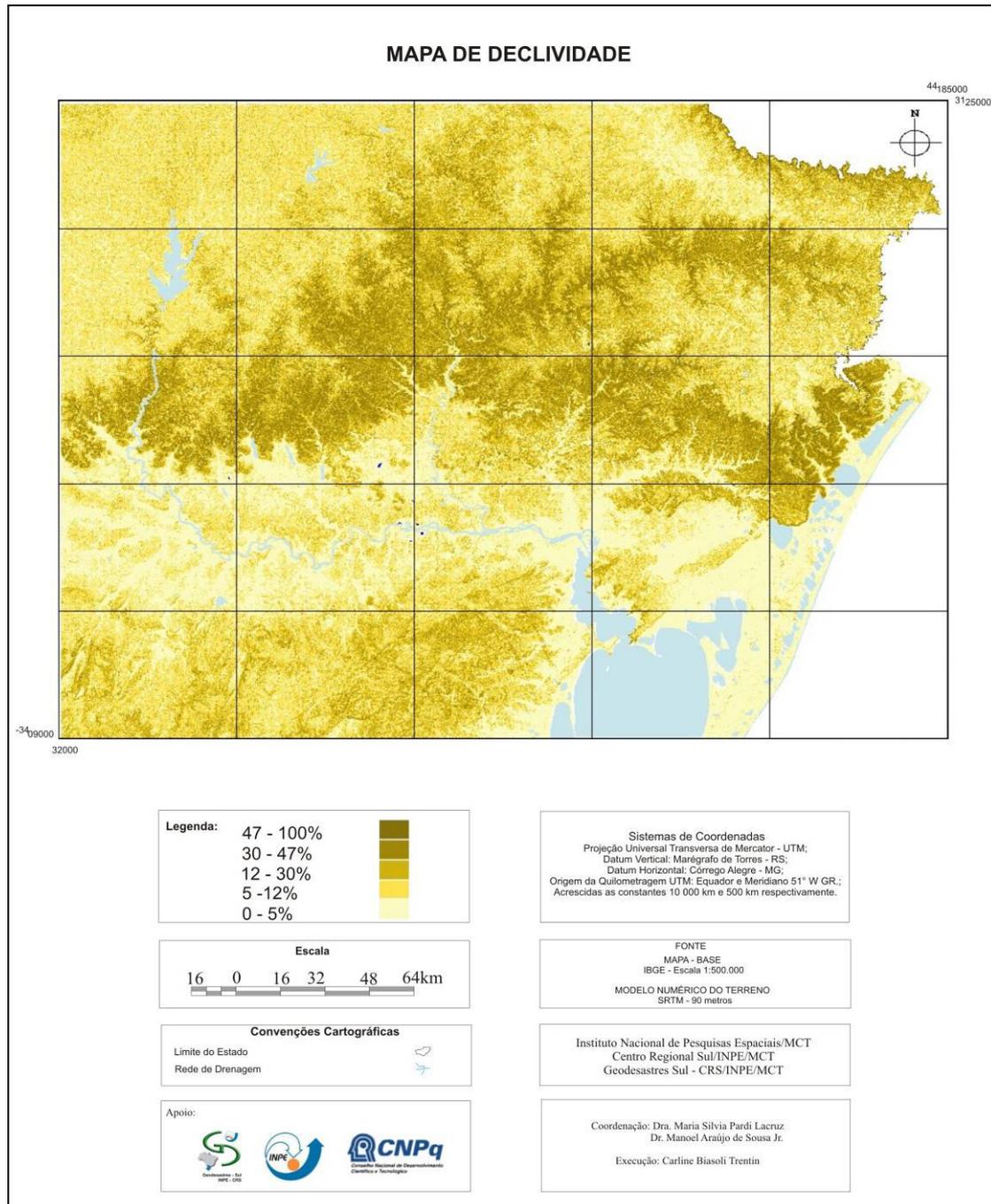


Figura 4: Mapa de declividade gerado a partir de imagens SRTM

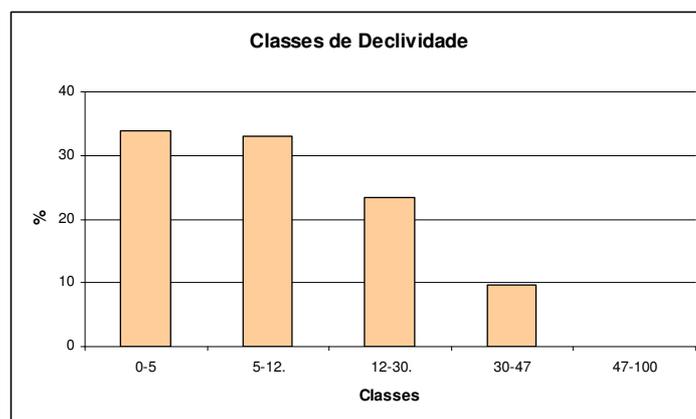


Figura 5: Quantificação das classes de declividade

O estudo da altitude é relevante na análise das formas do relevo, já o mapa hipsométrico tem fundamental importância na análise da energia do relevo, indicando condições mais propícias à dissecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude.

As altitudes que correspondem a área em estudo variam de 0 a 1400 metros (Figura 6), apresentando duas regiões principais: a parte norte do Rio Jacuí onde as classes hipsométricas variam entre 600 e 1400 metros e a parte sul com classes entre 0 e 600 metros.

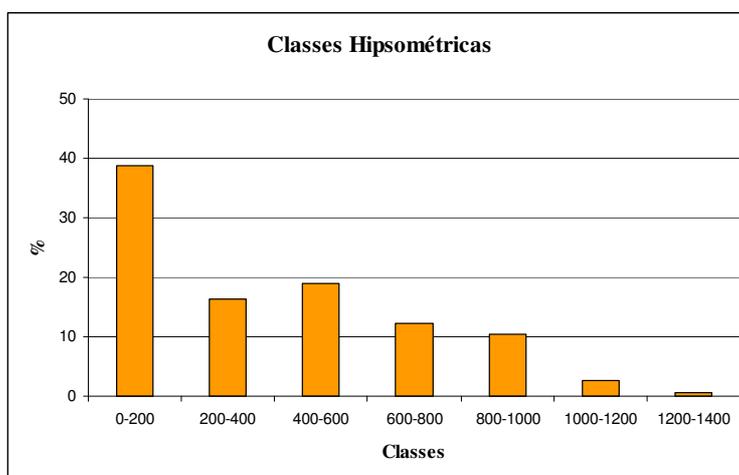


Figura 6: Quantificação das classes hipsométricas

A classe hipsométrica de maior representatividade é a de 0 a 200 metros, a qual abrange 38,85% área total e se encontra principalmente no vale do Rio Jacuí (Figura 7).

As altitudes entre 200 - 400 e 400 - 600 metros, representam respectivamente 16,41% e 19,06% da área. As altitudes entre 600 - 800 correspondem a 12,15% da área enquanto as altitudes de 800 - 1000 representam 10,34%. Para finalizar, os ranges entre 1000 - 1200 e 1200 a 1400 metros, encontram-se em pontos isolados correspondendo a áreas de serra e no rebordo, representando cerca de 2,63% e 0,52% da área.

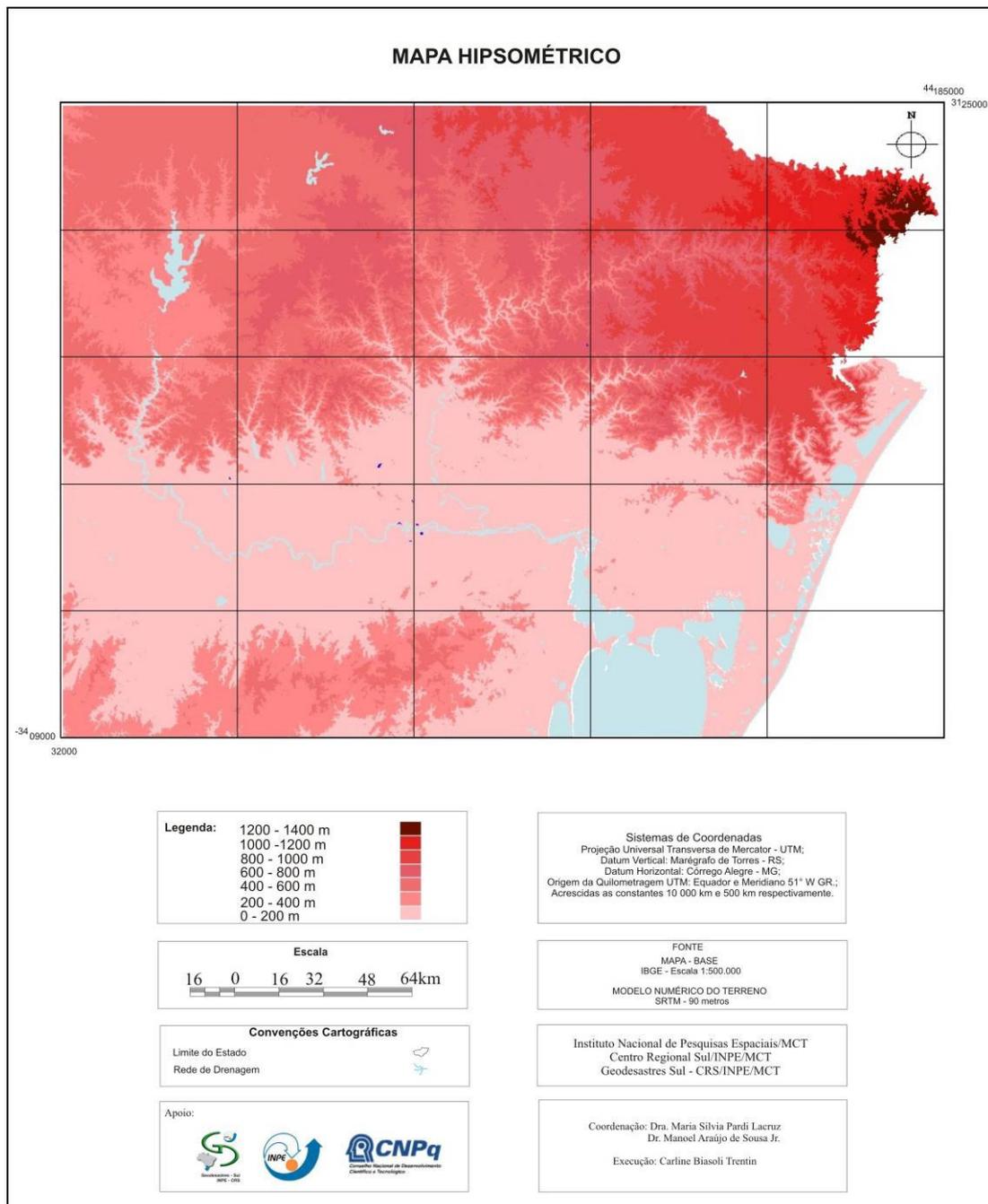


Figura 7: Mapa Hipsométrico gerado a partir de imagens SRTM

Após o cruzamento dos planos de informação observou-se a predominância dos terrenos alagáveis nas classes de declividade inferiores (Figura 8), ou seja, em áreas mais planas. Estas áreas são favoráveis ao uso e ocupação, porém podem apresentar risco de inundação, demonstrando a suscetibilidade para problemas de enchentes nestes locais.

Além das condições de relevo, a interferência antrópica é uma das principais causas para a ocorrência de enchentes, principalmente em virtude da ocupação das planícies de inundação com conseqüente impermeabilização do solo, desmatamento das

encostas causando assoreamento dos rios, essas condições vem sendo agravadas com o aumento das precipitações intensas.

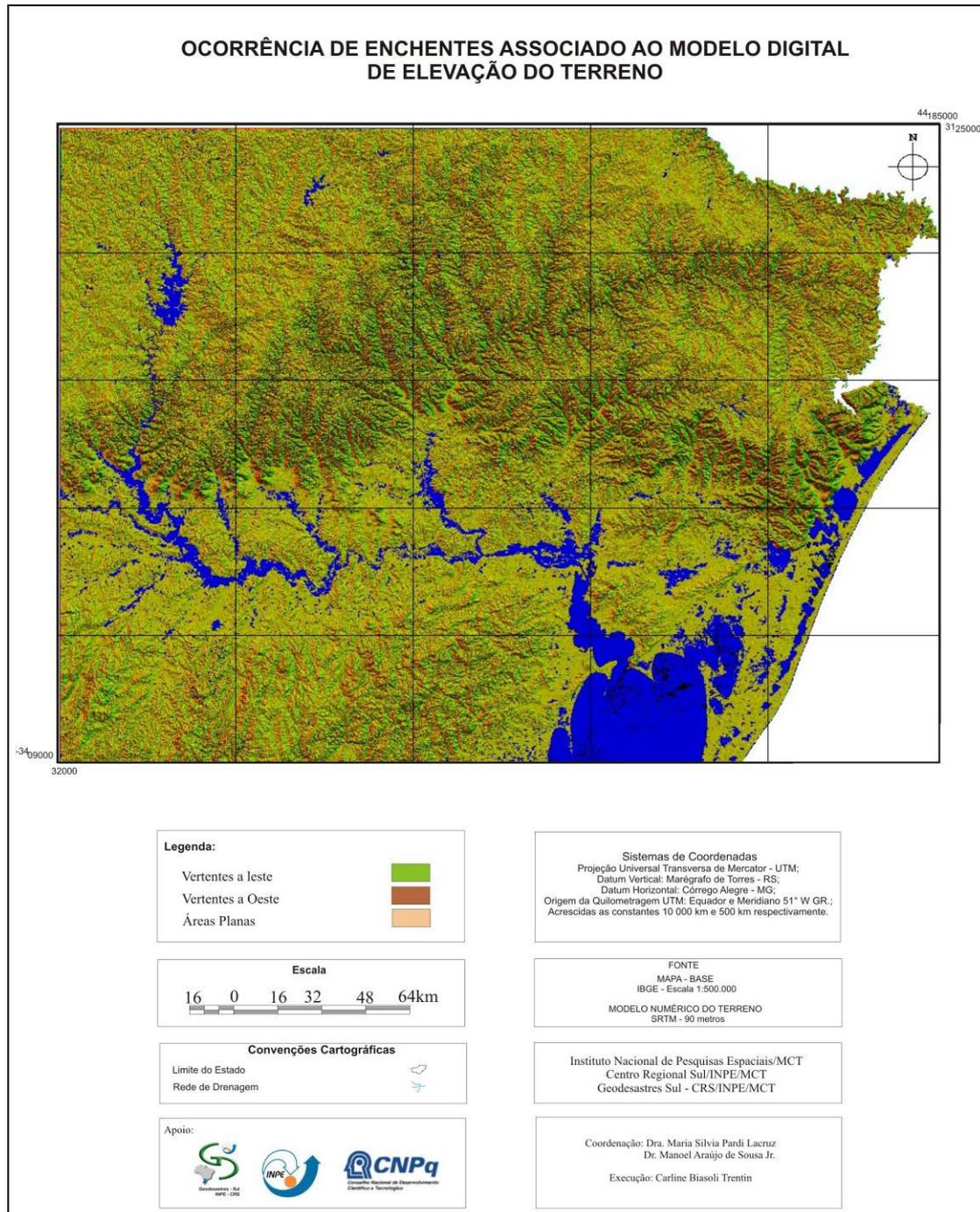


Figura 8: Mapa de áreas alagáveis sobre o modelo digital do terreno

Em locais com declividade e altimetria superiores a 12% e 600metros, respectivamente, a presença de terrenos alagáveis é menor, considerando que estas áreas apresentam geralmente rios intermitentes os quais possuem maior vazão, facilitando o escoamento das águas. Além de apresentarem vales mais encaixados dificultando o acumulo de água, ao contrario do que acontece nas planícies de inundação.

## 5. Considerações Finais

Para garantir sua sobrevivência, o homem necessita fazer uso dos recursos naturais, mas a utilização inadequada desses recursos provoca impactos ao meio ambiente. Neste trabalho foi constatado que existe uma influência do relevo nas áreas suscetíveis a enchentes, e que através dos mapas de declividade, hipsometria e do modelo digital do terreno, é possível identificar os locais mais favoráveis a ocorrência de enchentes e é possível estimar o número de pessoas que podem ser afetadas.

Não apenas o relevo influencia na ocorrência de desastres naturais, mas principalmente a interferência humana no ambiente, a qual altera de forma significativa as condições físicas do meio resultando em impactos que afetam diretamente a qualidade de vida da população que ocupa esses espaços.

É importante destacar neste estudo, que o uso de técnicas de geoprocessamento permitiu a integração de diferentes tipos de informações tais como imagens do sensor *MODIS*, dados do *SRTM* e dados de precipitação para obter resultados mais significativos quanto as consequência do uso e ocupação. Assim, fica claro as vantagens do uso destas ferramentas para estudos ambientais, principalmente no que se refere à área de planejamento e gerenciamento de áreas afetadas por desastres naturais.

## 6. Referências Bibliográficas:

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, 2004.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. **Consulta dos Índices Pluviométricos.** 2007. Disponível em: <http://www.defesacivil.rs.gov.br/>. Acesso em: 15 dez. 2007.

BLASCHKE T. & KUX H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas aplicações na agricultura.** 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

CASTRO, A. L. C. Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres. Brasília: MPO/Departamento de Defesa Civil. 1998. 273 p. Disponível em: <http://www.defesacivil.se.gov.br/modules/tinyd0/index.php?id=15>>. Acesso em: 9 nov. 2007.

COSTA, A. S.; SOUZA JR., C. M. **Comparação entre Imagens Landsat Etm+ e Modis/Terra para Detecção de Incrementos de Desmatamento na Região do Baixo Acre.** RBC - Revista Brasileira de Cartografia nº 57/2, agosto 2005.

ESTEIO, 2007. **Projeto SRTM** - Estágio Atual. Disponível em: <<http://www.esteio.com.br/newsletters/paginas/006/coordenadas.htm>>. Acesso em: 9 nov. 2007.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto princípios e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1998.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Minas Gerais: Edição do autor, 2000.

SILVA, J. E. B.; SANTOS, P.R.A. 2007. A utilização dos modelos SRTM na interpretação geomorfológica: técnicas e tecnologias aplicadas ao mapeamento geomorfológico do território brasileiro. *In:* XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007. **Anais...** INPE, p. 4261-4266.

SOUSA JÚNIOR, M. A.; PARDI LACRUZ, M. S. 2006. Monitoramento de desastres naturais utilizando imagens *MODIS* - estudo de caso: Pantanal. *In:* 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Campo Grande, Brasil, 2006. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006, p.739-748.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “Visão Mundial da Água”.** Bahia Análise & Dados. Salvador, v. 13, n. especial, p. 357-370, 2003. Disponível em: <[http://www.sei.ba.gov.br/publicacoes/publicacoes\\_sei/bahia\\_analise/analise\\_dados/pdf/recursos\\_hidricos/pag\\_357.pdf](http://www.sei.ba.gov.br/publicacoes/publicacoes_sei/bahia_analise/analise_dados/pdf/recursos_hidricos/pag_357.pdf)>. Acesso em 07 mar. 2008.