

## **Uso de imagens CBERS 2B e dados SRTM no mapeamento de áreas de vulnerabilidade ambiental na cidade de Corumbá-MS**

Joelson Gonçalves Pereira<sup>1</sup>

Luciana Escalante Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCBA

Caixa Postal 322 – 79.804-970 - Dourados - MS, Brasil

joelsonpereira@ufgd.edu.br

poninhaes@hotmail.com

**Abstract.** This study aimed to identify and characterize the areas of environmental vulnerability of the city of Corumbá-MS. For both, were employed CBERS-2B HRC CCD, as well as digital elevation models (DEM) provided by SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), supplemented by field surveys. Based on parameters such as use and land cover, topography, slope and runoff, it was possible the identification and mapping of four situations of environmental vulnerability in the city, areas susceptible to landslides, flooding, floods and mass movements (falls block and landslides.) The results have proved satisfactory in order to demonstrate the effective use of remote sensing products of medium and high spatial resolution associated to map in detail the scale of urban environmental vulnerability.

**Palavras-chave:** remote sensing, environmental vulnerability, urban area, sensoriamento remoto, vulnerabilidade ambiental, área urbana.

## 1. Introdução

Os conflitos de uso e ocupação do solo na maioria das cidades brasileiras expõem as distorções empreendidas pelo modelo de urbanização do país. Um dos reflexos mais significativos dessa realidade se verifica pelo processo de expansão da cidade sobre áreas de acentuada instabilidade geofísica como fundos de vale, margem de rios, terrenos sujeitos a alagamentos e inundações, áreas de encosta, dentre outras, o que expõe a população residente nesses locais ao risco iminente de eventos associados a movimentos de massa e escoamento superficial.

As próprias condições climáticas do Brasil, caracterizadas pela concentração de chuvas no verão, associado a seus aspectos geomorfológicos, constituído por grandes maciços montanhosos, fundos de vale e planícies inundáveis, fazem com que várias partes do seu território sejam naturalmente suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa e a eventos associados ao escoamento superficial da água. Essas condições naturais, associadas à atuação antrópica nas vertentes, sobretudo pelo processo de urbanização, propicia a ocorrência de um grande número de acidentes envolvendo perdas de vida, prejuízos econômicos, danos materiais e comprometimento da infraestrutura urbana (Guimarães et al, 2008).

Disposta sobre um sítio de topografia acidentada, a cidade de Corumbá-MS reflete a problemática engendrada pela expansão urbana no Brasil. Nela, um projeto de arruamento simétrico e quadriculado que acompanhou seu processo de expansão, incluiu quarteirões inteiros em áreas de fundo de vale e sobre as encostas íngremes dos morros que cercam sua periferia. Como consequência, a repetição anual dos alagamentos em áreas mal drenadas e nos quarteirões cortados por antigos talwegues, assim como a suscetibilidade de enxurradas em fundos de vale urbanizados e de queda de blocos em áreas de encosta, requer, atualmente, um esforço na constituição de recursos técnicos de apoio ao planejamento e gestão ambiental dessas áreas de vulnerabilidade.

A descrição espacial, construída a partir do mapeamento da vulnerabilidade, constitui um importante instrumento de apoio à tomada de decisões para o gerenciamento desse conflitos relacionados ao uso do solo urbano (Blaschke e Kux, 2007). Diante disso, o presente trabalho objetivou a identificação das áreas de vulnerabilidade ambiental da cidade de Corumbá-MS, com apoio em recursos gratuitos de sensoriamento remoto, permitindo a constituição de um recuso de suporte ao gerenciamento dos locais que se configuram como de suscetibilidade de agravos ambientais.

## 2. Metodologia de Trabalho

A cidade de Corumbá, situada na região noroeste de Mato Grosso do Sul, à margem do rio Paraguai e fronteira com a Bolívia (figura 1), constitui o principal centro urbano do Pantanal, dispondo de uma população de 86.656 habitantes (IBGE, 2007). Seu sítio ocupa um platô de afloramento calcário que se conforma como uma rampa declinada Sul-Norte, em direção ao rio Paraguai e que impõe sérias limitações à implantação de infra-estruturas subterrâneas. Não obstante as características do seu embasamento geológico e da topografia acidentada de sua periferia sul, a expansão urbana se processou de forma desordenada, alcançando, a partir da década de 1970, áreas suscetíveis a agravos ambientais como terrenos de encostas íngremes, fundos de vale e planícies sujeitas a inundações. Tais situações, atualmente, constituem importantes desafios ao seu planejamento urbano e à garantia de segurança habitacional à população estabelecida nesses locais.

Para a realização do mapeamento das áreas de vulnerabilidade ambiental da cidade, foram empregadas imagens CBERS-2B HRC e CCD, datadas, respectivamente, de março e julho de 2008, assim como modelos digitais de elevação (MDE) fornecidos por dados SRTM (*Shuttle Radar Topographi Mission*), complementados por levantamento de campo.

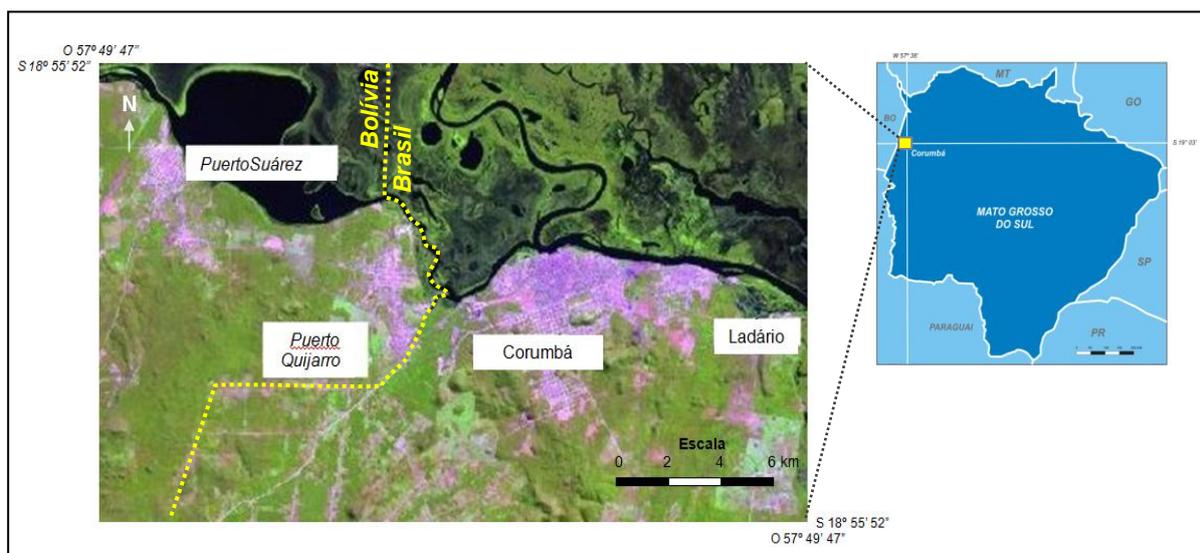


Figura 1. Localização da cidade de Corumbá na fronteira Brasil - Bolívia.

O processamento dos dados de sensoriamento remoto incluiu o georreferenciamento das imagens CBERS 2-B, com base em dados de coordenadas coletados em campo. Posteriormente, recorreu-se ao processo de fusão das imagens CCD e HRC, a partir da conversão IHS - RGB, o que permitiu a composição colorida em falsa cor, facilitando o processo de interpretação visual.

A caracterização do escoamento superficial consistiu na reconstituição da drenagem natural urbana, mediante a identificação dos talwegues principais, realizado com base em interpretação visual da imagem RGB, corroboradas com dados obtidos por reconhecimento de campo com receptor GPS e auxiliado por interpretação de isolinhas geradas a partir de SRTM. Essas mesmas rotinas foram empregadas para a identificação dos limites de microbacias, assim como para a caracterização do padrão de ocupação do solo em área urbana consolidada e não consolidada.

As áreas mapeadas foram divididas em duas categorias de vulnerabilidade: 1- áreas suscetíveis a agravos por escoamento superficial da água (sujeitas a enxurradas, alagamentos e inundações) e 2 - áreas suscetíveis a movimentos de massa (quedas de blocos e deslizamentos).

A identificação das áreas suscetíveis a agravos por escoamento superficial foi realizada mediante integração da temática drenagem natural urbana com a caracterização morfológica das microbacias urbanas consolidadas por levantamento de campo e corroboradas com a plotagem de registros das áreas com históricos de alagamentos e enxurradas levantados pela Leitura Técnica do Plano Diretor de Corumbá (2006).

Para o mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa recorreu-se a dados de declividades gerados a partir de SRTM. Para tanto, realizou-se a reamostragem das células de 90 metros do modelo digital de elevação original, a partir do emprego de interpolador bilinear bicúbica, de onde se obteve uma nova grade reamostrada em 30 metros. A geração da carta de declividade, baseou-se no modelo proposto por Andrade et al (1998), admitindo-se quatro estratos de declividade, correspondentes aos seguintes intervalos: até 10%, de 10% a 20%, de 20% a 30%, e acima de 30%.

Em função da limitação imposta pelo SRTM para levantamentos em áreas urbanas e, sobretudo, planas foram consideradas no mapeamento da topografia apenas as classes de declividades superiores a 20%, sendo descartados os estratos menor declividade, nos quais se

considerou a grande interferência de áreas construídas e outros objetos na composição do MDE e, conseqüentemente, na geração do gradiente de declividade.

O mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa procedeu da integração das temáticas declividade e uso e ocupação do solo, sendo identificadas como pertencentes a esta categoria de vulnerabilidade os locais constituídos por áreas urbanas consolidadas localizadas em terrenos com declividade superior a 20%.

A análise espacial do mapeamento permitiu a identificação dos fatores ambientais condicionantes da suscetibilidade por área, assim como a caracterização e a quantificação espacial das áreas de vulnerabilidade ambiental em cada microbacia urbana.

### 3. Resultados e discussão

O mapeamento realizado permitiu a quantificação de um total de 5,47 km<sup>2</sup> de áreas com características de vulnerabilidade ambiental na cidade de Corumbá, o que corresponde a 12,65% do perímetro urbano municipal representado por uma extensão de 43,28 km<sup>2</sup>. Restringindo essa relação somente para a área urbana consolidada, que totaliza uma extensão de 20,76 km<sup>2</sup>, o peso da vulnerabilidade ambiental alcança uma representatividade de 16,62% do total da área urbana efetivamente ocupada (tabela 1).

Tabela 1. Quantificação das classes de suscetibilidade no perímetro urbano e na área urbana consolidada de Corumbá.

Classes de suscetibilidade	Area (m <sup>2</sup> )	Percentual ocupado no perímetro urbano	Percentual ocupado na área urbana consolidada
Alagamentos	2,73	6,31	8,42
Movimentos de massa	1,47	3,4	7,1
Inundações	1,07	2,48	0,19
Enxurradas	0,2	0,46	0,91
<b>Total</b>	<b>5,47</b>	<b>12,65</b>	<b>16,62</b>

Os tipos de vulnerabilidade identificados referem-se a áreas suscetíveis a alagamentos, que representam 50% do total das áreas mapeadas; movimentos de massa, correspondente a 26,9%; áreas sujeitas a inundações e áreas suscetíveis a enxurradas, respectivamente representadas por 19,5% e 3,6%.

#### 3.1 Suscetibilidade a alagamentos

As áreas suscetíveis a alagamentos constituem a classe de vulnerabilidade mais significativa, estando relacionadas a locais onde o predomínio de um relevo plano, associado aos efeitos da urbanização, como a impermeabilização do solo por áreas construídas e pela pavimentação e compactação viária, impõe sérias limitações tanto à infiltração como ao escoamento superficial da água. Por esse motivo, essas áreas se concentram, sobretudo, sobre o pediplano interposto entre o rio Paraguai e as colinas da Formação Bocaina, uma extensa superfície aplainada, com declividades inferiores a 5% em que a urbanização se efetivou com mais intensidade (figura 2). Em certas situações, a implantação de infraestrutura em nível superior à cota do terreno, associada a deficiências de rede de drenagem pluvial, contribui para a retenção da água provenientes das áreas mais altas das microbacias que convergem o escoamento superficial para o pediplano.

Ressalta-se que as próprias condições geoambientais presentes no sítio urbano, contribuem para um elevado coeficiente de escoamento superficial. O predomínio de solos litólicos, rasos, pouco desenvolvidos, de textura argilosa e de baixíssima porosidade, acaba por impor severas limitações ao seu potencial de infiltração, condicionando um maior escoamento superficial das águas pluviais (Monteiro, 1997). Nas áreas urbanizadas e

deficientes de um sistema de drenagem pluvial, tal fator, torna-se decisivo ao surgimento não somente de alagamentos, nos terrenos de menor declividade, mas também de enxurradas, em talvegues de vales mais profundos (figura 3).

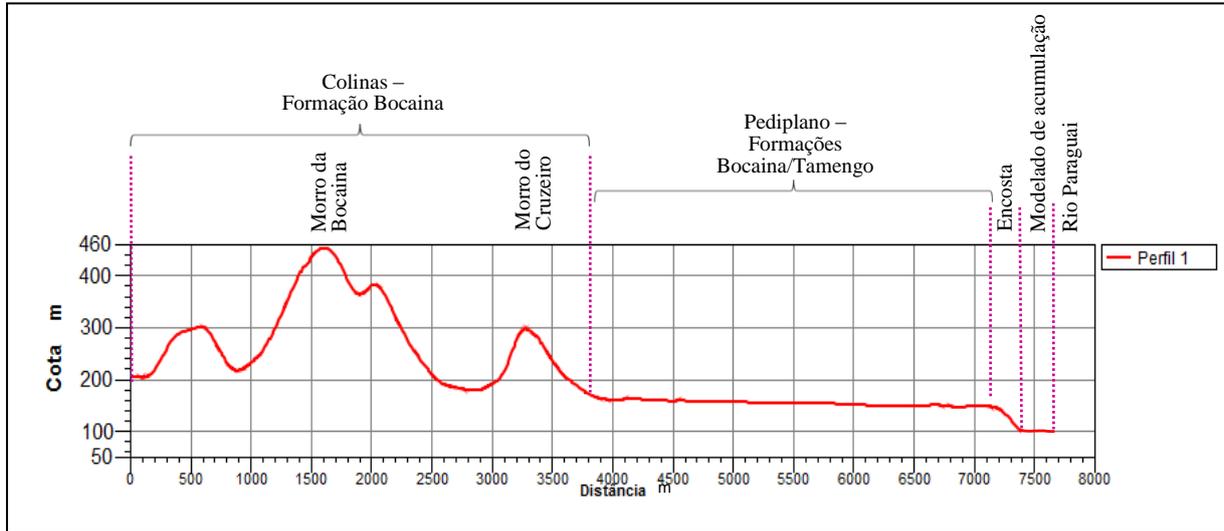


Figura 2. Perfil topográfico sul-norte do sítio urbano de Corumbá, gerado em Sistema de Informações Geográficas, a partir de modelo digital de elevação fornecido por dados SRTM.

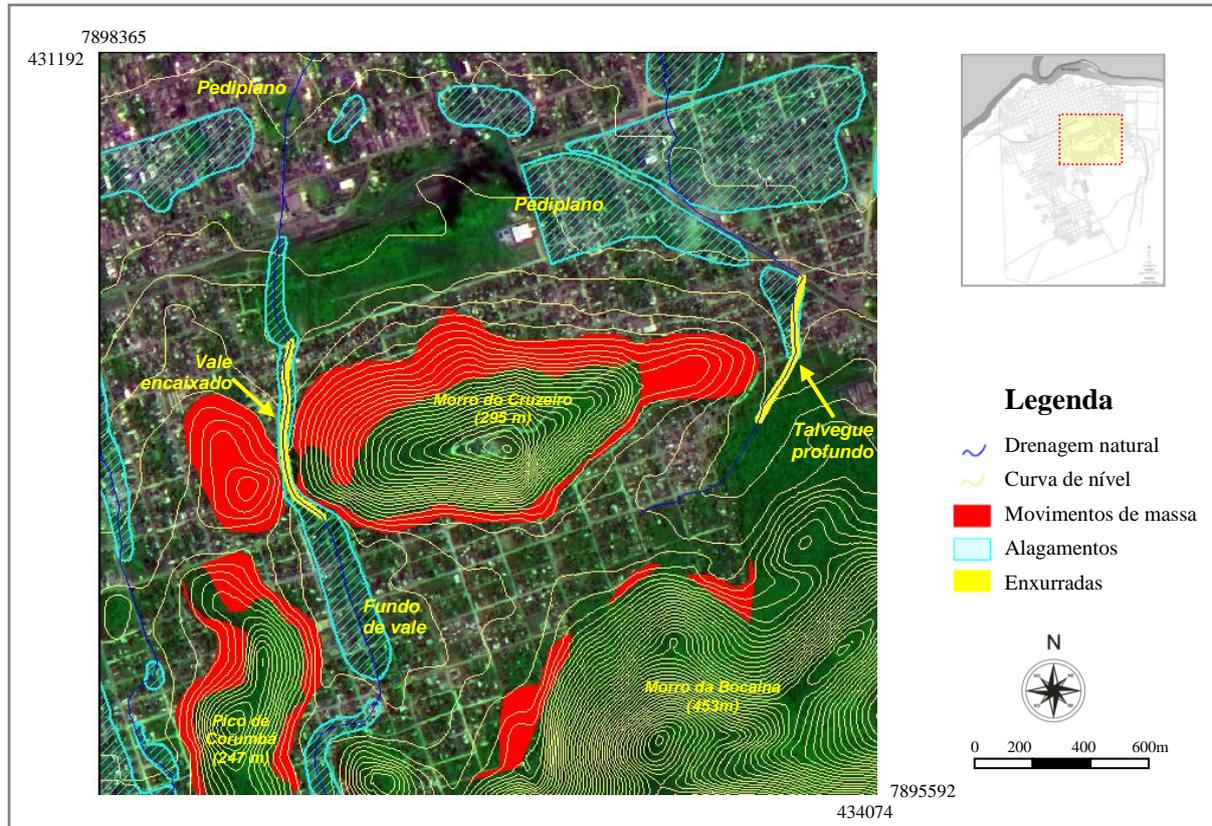


Figura 3. Identificação da tipologia geomorfológica e das áreas de vulnerabilidade ambiental na região do morro do Cruzeiro, área urbana de Corumbá, a partir de fusão de imagens CBERS 2B CCD e HRC, sobreposta por curvas de nível geradas de dados SRTM.

### **3.2 Suscetibilidade a enxurradas**

As áreas suscetíveis a enxurradas possuem uma distribuição linear sobre trechos da drenagem natural urbana e sua faixa marginal. Embora correspondendo uma área discreta, de apenas 0,2 km<sup>2</sup>, sua representatividade no contexto da vulnerabilidade urbana se eleva em função do seu percorrimto linear, o qual alcança uma extensão total de 9,1 km distribuídos em 13 segmentos de suscetibilidade.

Ocorrem em trechos de talwegues localizados em fundos de vale urbanizados, profundos e interpostos por vertentes de declividade acentuada e que, dada a essas características são capazes de concentrar grande vazão e energia no escoamento superficial de águas pluviais.

Os segmentos suscetíveis a enxurradas se concentram, predominantemente, nos baixos cursos das microbacias urbanas, de maior concentração do deflúvio e onde o escoamento superficial esculpiu talwegues profundos sobre a Formação Tamengo, estrutura cárstica composta por intercalações de arenitos, siltitos e folhelhos, mais suscetível à ação erosiva da água. Dos 13 segmentos de áreas suscetíveis a enxurradas mapeados, nove se concentram sobre essa formação, que corresponde à porção norte do pediplano, próximo ao rio Paraguai.

A condição de vulnerabilidade das áreas suscetíveis a enxurradas torna-se mais significativa na medida em que a expansão urbana, processada na parte alta das microbacias, reflete na maior impermeabilização do solo, aumentando significativamente o escoamento superficial e, conseqüentemente, o volume d'água concentrado nos talwegues da drenagem natural.

### **3.3 Suscetibilidade a inundação**

As áreas suscetíveis a inundação equivalem ao modelado de acumulação que se estende por toda região ribeirinha da área urbana, estando submetido ao regime de cheias sazonais do rio Paraguai e canal do Tamengo. Ademais, essa área corresponde, também, ao ponto final de descarga da drenagem das microbacias urbanas, fazendo com que planície assumam feições deltaica, em função da deposição dos sedimentos cársticos erodidos das Formações Bocaina e Tamengo pelo escoamento superficial, sobretudo nas áreas de influência de exultórios de maior vazão.

As atividades morfogenéticas dominantes não evitaram que parte da planície fosse submetida à ocupação residencial, mormente concentrada sobre a faixa constituída pela deposição de sedimentos cársticos erodidos da encosta ribeirinha.

### **3.4 Suscetibilidade movimentos de massa**

As áreas suscetíveis a movimentos de massa correspondem à segunda classe mais significativa no contexto da vulnerabilidade ambiental urbana. Dispondo de uma extensão de 1,47 km<sup>2</sup>, essa classe equivale às áreas urbanas consolidadas localizadas em terrenos em colinosos e de encosta que possuem declividade superior a 20%.

Essas áreas se caracterizam por duas situações de suscetibilidade que se relacionam a constituições geológicas distintas encontradas na área urbana: áreas sujeitas a queda de blocos, correspondentes às encostas de morros da periferia sul, onde se verificam a iminência da subsidência de blocos soltos de rocha dolomítica, cuja instabilidade se acentua pela supressão da vegetação arbórea, motivada pelo processo de ocupação residencial que avança em direção às áreas mais altas dos morros; áreas suscetíveis a desmoronamentos: correspondentes a terrenos da encosta ribeirinha, constituída predominantemente por pacotes de calcário calcítico da formação Tamengo, não consolidado, de baixa estabilidade, agravada pelo processo de urbanização e supressão da vegetação.

O resultado do mapeamento das áreas suscetíveis a agravos ambientais foi consolidado na composição de uma carta-imagem da vulnerabilidade ambiental urbana, com o emprego do produto resultante da fusão de imagens CBERS-2B CCD e HRC (figura 4).

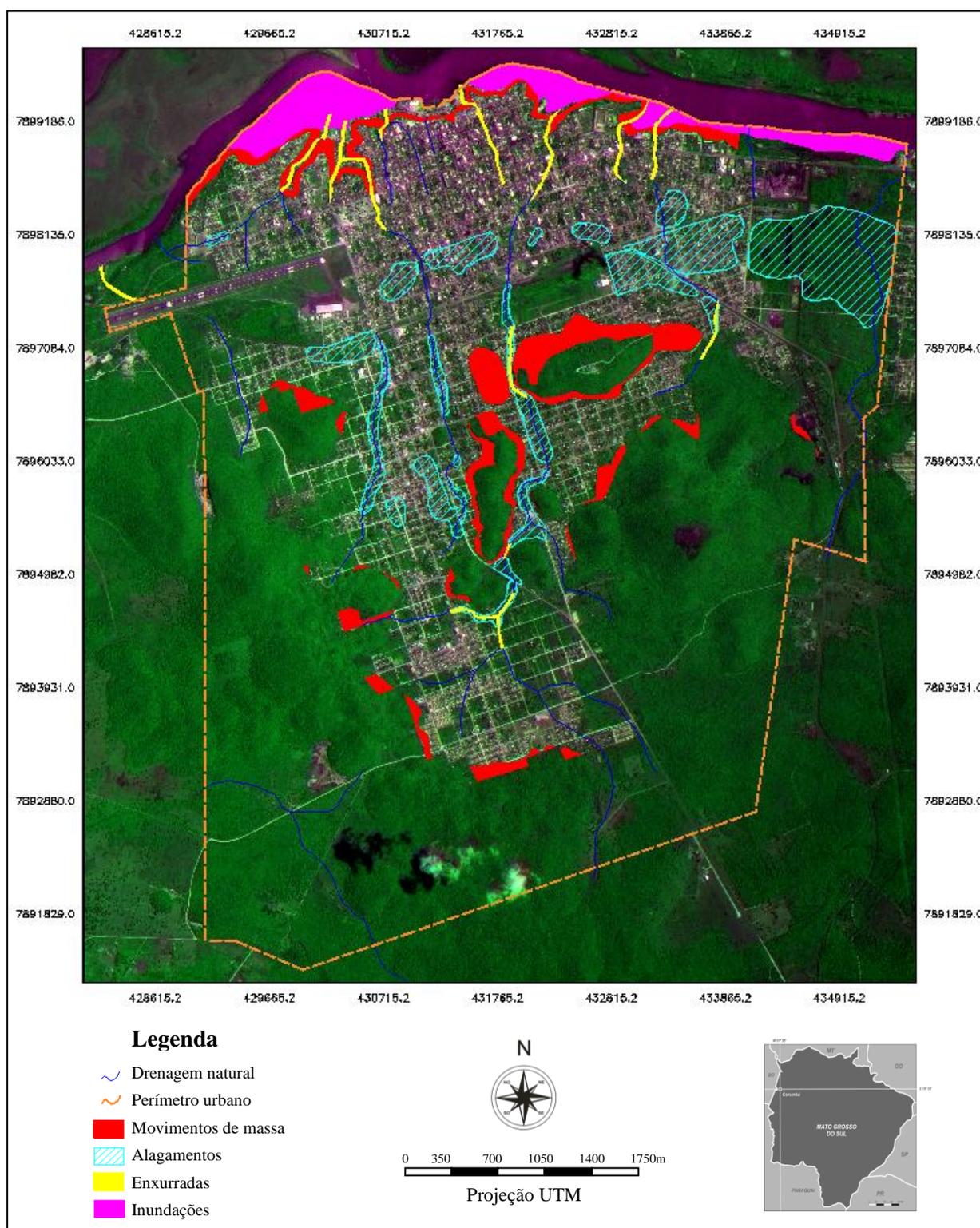


Figura 4. Carta imagem com a identificação das áreas de vulnerabilidade ambiental da cidade de Corumbá-MS

#### 4. Conclusões

As imagens CBERS 2B, associadas aos dados topográficos gerados a partir do modelo digital de elevação do produto SRTM, mostraram-se bastante adequadas ao mapeamento das áreas de vulnerabilidade da cidade de Corumbá, em grande escala.

A fusão das imagens CCD e HRC potencializou o processo de interpretação visual, o que permitiu maior acuidade na identificação dos padrões de uso e ocupação do solo urbano, com resultados muito satisfatórios quanto à precisão requerida para mapeamentos em escala de detalhe, compatíveis com levantamentos em áreas urbanas.

O modelo digital de elevação mostrou-se adequado ao reconhecimento da topografia urbana e, por conseguinte, na identificação de sua compartimentação geomorfológica. O modelo de declividade resultante do SRTM reamostrado apresentou melhores resultados na identificação das áreas de vulnerabilidade associadas a encostas e fundos de vale profundos, ao passo que apresentou sérias limitações, ao ponto de descartar seu uso, no mapeamento das áreas suscetíveis a alagamentos, localizados sobre topografias planas.

#### Agradecimentos

À Pró-Reitoria de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa – PROPP/UFGD, financiadora do projeto de pesquisa “Identificação de áreas de vulnerabilidade ambiental em áreas urbanas de Mato Grosso do Sul” do qual este artigo é parte integrante.

#### Referências Bibliográficas

- Andrade, H.; Alves, H. M. R.; Vieira, T. G. C.; Resende, R. J. T. P. de; Esteves, D. R.; Rosa, E. R. Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados georreferenciados do meio físico: III – estratificação em classes de declive. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27.,1998, Poços de Caldas, MG. Anais... Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.4, p.356-358.
- Blaschke, T.; Kux, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 303 p.
- Guimarães, R. F.; Carvalho Júnior, O. A.; Gomes, A. T.; Fernandes, N. F. Movimentos de Massa. In: Florenzano, Teresa G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. cap. 6, p. 179-206.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA/Contagem da população 2007. Disponível em: <[www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br)> Acesso em 20 ago 2010.
- Monteiro, M. J. Efeitos ambientais da urbanização de Corumbá-MS.1997. 126 p. (CDU 504. 064 : 711.4). Dissertação (Mestrado) - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília. 1997.
- Plano Diretor de Corumbá. **Leitura Técnica**. Prefeitura Municipal de Corumbá, 2006. 458 p.