

## Uso de SIG para análise da vulnerabilidade ambiental da Bacia do Alto Sucuriú – MS/BR

Cesar Cardoso Ferreira<sup>1</sup>  
Patrícia Helena Mirandola<sup>1</sup>  
Arnaldo Yoso Sakamoto<sup>1</sup>  
Franciele Gonçalves<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS  
Caixa Postal 210 - 79603-011 – Três Lagoas - MS, Brasil  
cesar\_ufms\_cptl@yahoo.com.br – patricia\_geografia@terra.com.br – sakamoto@ceul.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho" - UNESP  
Caixa Postal 467 - 19060-900 – Presidente Prudente - SP, Brasil  
franciele\_ufms@yahoo.com.br

**Abstract.** This paper aims to generate and analyze the environmental vulnerability of the Alto Sucuriú watershed using Geographic Information System for purposes of environmental planning and management. The Alto Sucuriú watershed is located in the northeastern part of Mato Grosso do Sul, from the geographical coordinates 18°12'36.19" to 19°33'50.86" S and 51°54'33" to 53°31'27.96" W. For this study we used satellite images LANDSAT 5 TM sensor bands 3, 4 and 5, in the year of 2010 to characterize vegetative cover. In addition to the satellite images it were used thematic data in the study area such as geology, geomorphology, pedology and climatology. The operational procedures used were based on the acquisition, storage, manipulation, analysis and presentation of georeferenced data. The generation of the vulnerability map, based on the analysis model propose by Tricart in 1977, considered and assigned values: a value near 1 means that there is stability (processes of morphogenesis), values near 2 are interpreted as intermediary known by the author as intergrades, values near 2.5 are characterized as moderately unstable and values near 3 identified as unstable (processes of pedogenesis). In the Alto Sucuriú watershed dominated the class Moderately Unstable, consists of degraded areas and production areas in process of environmental recovery. Finally, the generated vulnerability map with the areas of thematic classes (stable, intergrade, moderately unstable and unstable) allowed to classify, to quantify and to assess environmental vulnerability and fragility of the Alto Sucuriú watershed.

**Palavras-chave:** remote sensing, geoprocessing, image processing, Analytic Hierarchy Process; sensoriamento remoto, geoprocessamento, processamento de imagens, análise de processo hierárquico.

### 1. Introdução

O aperfeiçoamento e acessibilidade de tecnologias para geração e estudos de dados e informações espaciais, tem sido crescentes nas últimas décadas, tanto no seguimento público como no privado. Uma dessas tecnologias orsão os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Sistemas de Informação Geográfica podem ser definidos como sistemas de informação construídos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente e indispensável para tratá-los (CÂMARA 1996).

O uso de SIG para geração de documentos temáticos é de grande importância para o conhecimento prévio e detalhado da Bacia Hidrográfica do Alto Sucuriú, tendo em vista que a importância econômica e ambiental desta bacia. Além disso, a possibilidade de cruzamentos de mapas ou planos de informações resultando em novos dados possibilita uma visão integradora e sistemática no entendimento da dinâmica ambiental.

A geração e análise de mapa de vulnerabilidade tornam-se importante no âmbito ambiental, pois a identificação e localização de áreas com maior potencial de fragilidade ambiental proporcionam uma melhor definição para as diretrizes de um planejamento a ser implantado em um determinado espaço.

Nessa perspectiva, as tecnologias dos Sistemas de Informação Geográfica vêm se impondo como uma importante ferramenta para visualização, manipulação e análise de dados espaciais podendo fornecer subsídios no sentido de nortear metas, planos e ações para gestão e organização do espaço.

O objetivo do presente trabalho é gerar e analisar a vulnerabilidade ambiental da Bacia do Alto Sucuriú por meio de mapeamentos temáticos, para fins de planejamento e gerenciamento ambiental.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo deste trabalho, a Bacia Hidrográfica do Alto Sucuriú (BHAS), está localizada na porção nordeste do Estado de Mato Grosso do Sul entre as coordenadas geográficas 18°12'36.198'' a 19°33'50.86'' S e 51°54'33'' a 53°31'27.96'' W e possui uma área de aproximadamente 11.196 km<sup>2</sup>, abrangendo partes dos municípios de Costa Rica, Chapadão do Sul e Água Clara, Cassilândia e Paranaíba. O Rio Sucuriú é afluente da margem direita do Rio Paraná que é afluente do Rio da Prata (Figura 1).

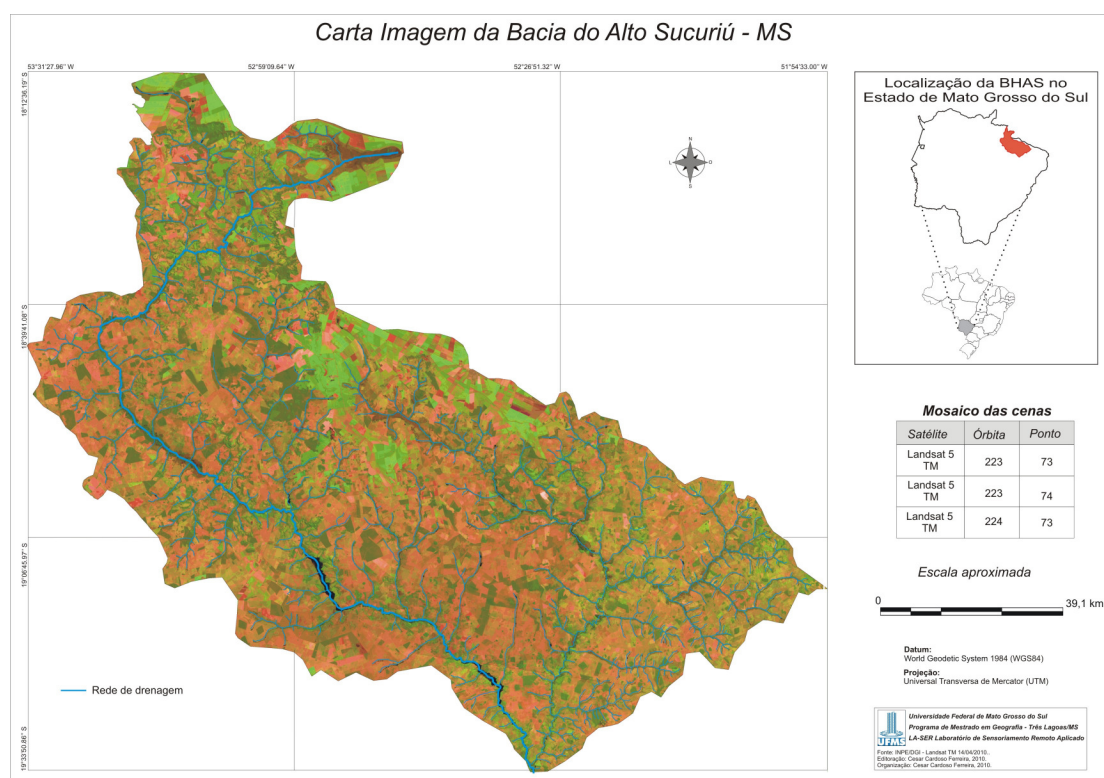


Figura 1: Localização da área de estudo.

Para a realização deste trabalho foi utilizado imagens do satélite LANDSAT 5 do sensor TM bandas 3, 4 e 5, do ano de 2010 órbita 223 e ponto 073, 223 074 e 224 073. As imagens TM auxiliaram no conhecimento do uso e cobertura da terra e na geração do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para validação da vegetação na BHAS.

Além das imagens orbitais foram utilizados dados temáticos da área de estudo como: geologia, geomorfologia, pedologia e climatologia. Esses dados foram obtidos por meio do Atlas Multireferencial do Estado de Mato Grosso do Sul realizado pela Secretaria Estadual de Planejamento, 1990.

Os procedimentos operacionais utilizados basearam-se na aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados. A primeira etapa constituiu-se na criação de um Banco de Dados e Projeto, identificando projeção cartográfica e

delimitação do retângulo envolvente. Posteriormente foram aplicados alguns procedimentos de processamento nas imagens TM como: registro, elaboração de contraste, eliminação de ruídos, filtragem, NDVI, segmentação e classificação supervisionada utilizando o classificador Bhattacharya.

Para gerar o mapa de vulnerabilidade foi realizado o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), onde foram cruzados planos de informações atribuindo pesos para cada classe desses planos. Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a vulnerabilidade ambiental da BHAS são comparados com critério de importância e atribuídos ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala de pesos pré-definida. No caso deste trabalho essa etapa apoiou-se nos procedimentos metodológicos proposto por CREPANI *et al* (1996), onde os fatores comparados tem a mesma importância, ou seja, são iguais (Equação 1).

$$V = \frac{V_{gl} + V_{gm} + V_{pd} + V_{cl} + V_{vg}}{5}$$

Onde: V=Vulnerabilidade, Vgl=Variável geologia, Vgm=Variável geomorfologia, Vpd=Variável pedologia Vcl=Variável clima e Vvg=Variável vegetação.

A interação dos planos de informações temáticos geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia e vegetação foram baseadas nos estudos propostos por Tricart 1977, com os princípios da Ecodinâmica, que estabelece uma gradação entre a morfogênese, onde prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e a pedogênese, onde prevalecem os processos formadores de solos.

No modelo de análise elaborado por Tricart em 1977, são atribuídos valores próximos de 1 que significam Estabilidade (processos de morfogênese), já os valores próximos de 2 são interpretados como intermediário denominado pelo autor de Intergrades, e por fim os valores próximos de 3 caracterizam-se como Instáveis (processos de pedogênese). No caso deste trabalho foi criado mais uma classe denominada de Moderadamente Instável com valores próximo a 2.5 para melhor representação da vulnerabilidade da BHAS. Esta classe foi estabelecida para representar um intervalo entre Intergrade e Instável para estabelecer áreas degradadas ou em degradação e áreas recuperadas ou em recuperação.

Nesse modelo, podemos classificar áreas vulneráveis de acordo com seu grau de fragilidade dos dados fisiográficos. Essas áreas vulneráveis foram representadas pela cor verde referente a áreas estáveis, amarela intergrade, laranja moderadamente instável e vermelha instável (Tabela 1).

Tabela 1: Modelo de análise das unidades de paisagem

Unidades da Paisagem	Parâmetros	Grau de vulnerabilidade	Peso
GEOLOGIA	Grau de coesão das rochas	Estável	1
		Intergrades	2
		Moderadamente instáveis	2,5
		Instável	3
GEOMORFOLOGIA	Amplitude do relevo, densidade e grau de dissecção (índices Morfométricos)	Estável	1
		Intergrades	2
		Moderadamente instáveis	2,5
		Instável	3
PEDOLOGIA	Maturidade dos solos, processos erosivos, lixiviados e desenvolvimento.	Estável	1
		Intergrades	2
		Moderadamente instáveis	2,5
		Instável	3
CLIMA	Pluviosidade (Input)	Estável	1
		Intergrades	2
		Moderadamente instáveis	2,5
		Instável	3
VEGETAÇÃO	Densidade	Estável	1
		Intergrades	2
		Moderadamente instáveis	2,5
		Instável	3

A vulnerabilidade geológica foi classificada conforme o grau de coesão das rochas. No caso da Pedologia seu grau de vulnerabilidade foi classificado conforme a maturidade dos solos e lixiviação, o clima de acordo com a precipitação média e a vegetação conforme a densidade.

Após o AHP foi utilizado à programação LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) para gerar um modelo numérico de terreno (MNT) conforme os valores de vulnerabilidade atribuídos as classes de cada categoria temática (geologia, geomorfologia, pedologia, clima e vegetação), conforme as unidades fisiográficas da área (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de vulnerabilidade das classes temáticas fisiográficas.

Região	Geologia (Unidade)	Valor	Geomorfologia (Unidade)	Valor	Pedologia (Unidade)	Valor	Clima (Unidade)	Valor	Vegetação (Unidade)	Valor
Bacia do Alto Sucuriú	Cobertura detrito laterítico	2	Chapadão das Emas	2	Latossolo Vermelho Escuro	1	Úmido	2,5	Densidade Muito Baixa	3
	Caiuá	3	Modelado de Acumulação Inundação	2,5	Glei pouco Húmico	2	Úmido a sub-úmido	2	Densidade baixa	2,5
	Serra geral	2,5	Rampas Arenosas	2	Solos Litólicos	3	-	-	Densidade média	2
	Botucatu	2,5	Divisores Tabulares	2,5	Latossolo Roxo	1	-	-	Densidade Alta	1
	Santo Anastácio	3	Modelado de Acumulação Fluvial	2,5	Areias Quartzozas	3	-	-	-	-
	Adamantina	3	Patamares Aporé	2,5	Podzólico Vermelho Escuro	2	-	-	-	-
	-	-	-	-	Podzólico Vermelho Amarelo	2	-	-	-	-

A Álgebra de Mapas compõe uma linguagem especializada para realizar operações que tem tanto um sentido matemático, quanto cartográfico e espacial. Estas operações podem ser agrupadas em três grandes classes: pontuais de vizinhança e zonais (BARBOSA *et al*, 1998).

De acordo com Barbosa *et al* 1998, o conceito de zonalidade é utilizado em operadores de análise espacial, cujas restrições espaciais são definidas por áreas. A importância teórica deste conceito é dupla: permite materializar num SIG os conceitos de unidade de paisagem e área-unidade permitindo, por exemplo, a ligação entre dados do meio físico-biótico e dados sócio-econômicos, essencial para estudos de ordenação do território.

Com o MNT de valores de vulnerabilidade da área de estudo, realizou-se o procedimento de fatiamento desse modelo, com valor variável conforme as classes temáticas de vulnerabilidade que corresponde aos intervalos das cotas (Tabela 3). O fatiamento consiste em gerar uma imagem temática a partir de uma grade retangular.

Tabela 3: Fatiamento das classes temáticas de vulnerabilidade

GRAU DE VULNERABILIDADE (CLASSES)	INTERVALO DE CLASSES
ESTÁVEL	0 – 1
INTERGRADE	1.00001 – 2
MODERADAMENTE INSTÁVEL	2.00001 – 2.5
INSTÁVEL	2.500001 - 3

Desta forma, um Plano de Informação da categoria numérica originou um Plano de Informação de categoria temática representando um aspecto particular do modelo numérico de terreno; conseqüentemente, cada fatia foi associada a uma classe temática.

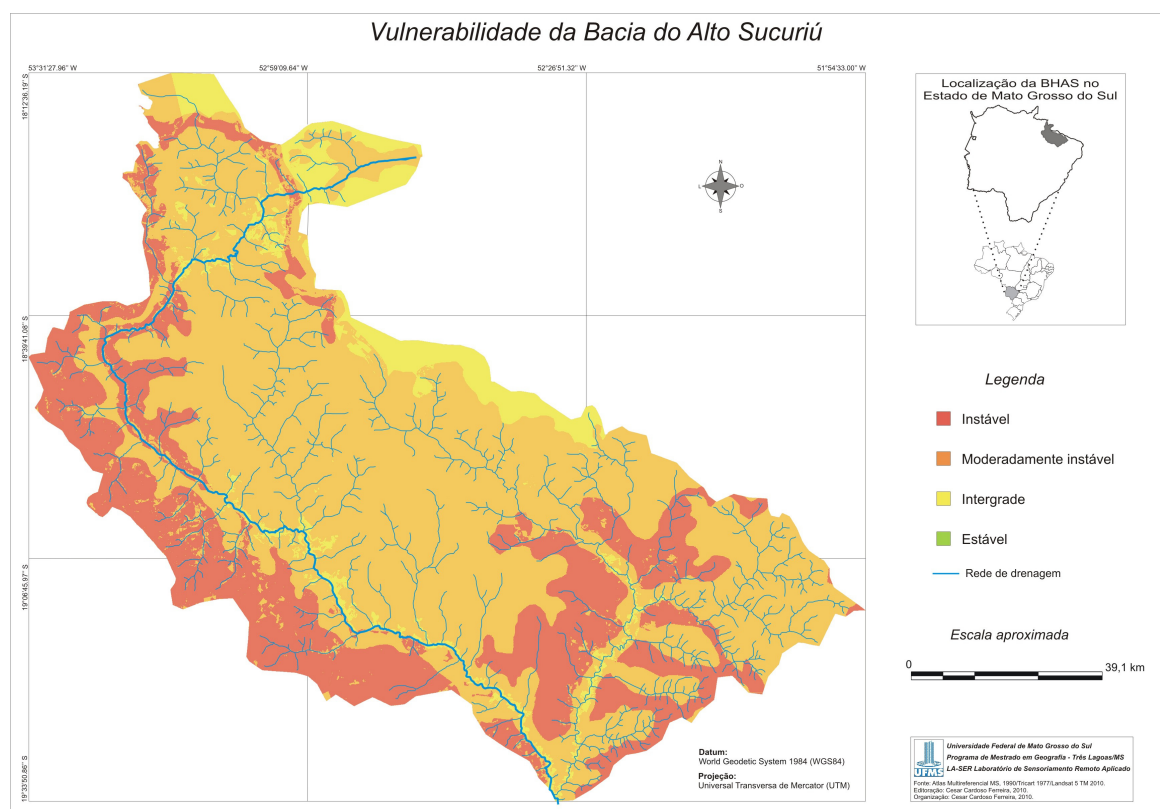
### 3. Resultados e Discussão

Por meio do cruzamento dos dados fisiográficos em ambiente de SIG, foram quantificados quatro classes temáticas: estável, intergrade, moderadamente instável e instável (Tabela 4).

Tabela 4: Quantificação das classes temáticas de vulnerabilidade

Classe	Km <sup>2</sup>
Estável	0
Intergrade	868,2210
Moderadamente Instável	7.208,2980
Instável	3.119,6034
<b>Total</b>	<b>11.196.1224</b>

Conforme a tabela acima, na Bacia Hidrográfica do Alto Sucuriú predomina-se a classe Moderadamente Instável com 64,38% da área total da bacia, constituídas de áreas degradadas e áreas de produção em processo de recuperação ambiental. A classe Instável com 27,86% da área total da BHAS e com menor representatividade a classe Intergrade com 7,76% da área total da BHAS. Pelas características das classes temáticas dos dados fisiográficos a classe Estável não foi representada e quantificada nas unidades geológica e geomorfológica, assim como nas unidades de clima e vegetação. Somente na Pedologia é representada pela unidade de Latossolo roxo, Latossolo vermelho escuro que apresenta a classe Estável, porém a Alta densidade vegetativa não coincidiram suas zonalidades e/ou áreas fisiográficas (Mapa 1).



Mapa 1: Vulnerabilidade Ambiental da Bacia do Alto Sucuriú/MS.

No mapa 1 apresenta nas partes oeste e sul da BHAS em uma faixa alongada que acompanha o rio Sucuriu, constituídas de áreas identificadas na classe de vulnerabilidade instável, isso deve a existência de áreas com unidades fisiográficas como: neossolos quartzarênicos (areias quartzozas) em grande extensão, rampas arenosas e formações caiuí, sendo todas essas unidades com valores de 2,5 e 3, moderadamente instável e instável respectivamente, constituídos de ambientes com alto grau de fragilidade. Além disso, nessa região a pastagem intensiva e muitas vezes degradada é predominante, o que torna mais importante a manutenção e manejo do uso do solo.

Os Neossolos Quartzarênicos são solos minerais não hidromórficos, textura arenosa, profundo e pouco desenvolvido, excessivamente drenados, normalmente distribuídos de materiais facilmente intemperizáveis, além de apresentar baixa retenção de umidade e grande lixiviação. São solos formados de sedimentos do Quaternário, ou arenito diversos encontrados geralmente em relevo suave ondulado (AMR-MS, 1990).

Nas unidades Rampas Arenosas predominam modelados planos nos topos, esculpido em rochas do grupo Bauru, e modelados de dissecação do tipo tabular ao longo dos vales, onde o processo erosivo fluvial expôs os basaltos da formação Serra Geral. (AMR-MS, 1990)

A formação Caiuí é representada por uma característica de uniformidade litológica, que se observa tanto no oeste paulista como no norte paranaense. Com espessura não superior a 1,50 m, visualizam-se arenitos bastante porosos, facilmente desagregáveis, e na maioria das vezes seus grãos encontram-se envoltos por uma película de limonita (AMR-MS, 1990).

Na região sul da BHAS também constatou-se forte presença de áreas instáveis devido a presença de áreas com formações Santo Anastácio, Adamantina e Serra Geral, além de ocorrer solos neossolos quartzarênicos. A geomorfologia nessa região predomina os Divisores Tabulares e a vegetação representada como em sua maior parte por baixa densidade e alta densidade vegetativa.

A formação Adamantina constitui-se essencialmente por arenitos finos a médios de colorações variando entre cinza-róseo, cinza-esbranquiçado a amarelo-esbranquiçados. Os grãos médios apresentam-se sub-arredondados, enquanto os grãos mais finos são predominantemente sub-angulosos. Geralmente estes arenitos apresentam uma matriz argilosa e pouco consistente, imprimem uma condição mais dinâmica ao pacote rochoso, caracterizando a presente unidade (AMR-MS, 1990).

A formação Santo Anastácio possui sua individualização dificultada, pelo espesso e constante solo arenoso, além da inexpressividade de seus afloramentos. A granulação é predominantemente fina e esporadicamente média a grosseira, mostrando a presença de um cimento síltico e carbonático, que gradativamente vai aumentando; detecta-se sempre tênues intercalações síltico-argilosas (AMR-MS, 1990).

A formação Serra Geral faz parte da região superior do Grupo São Bento, mostrando assim uma expressiva área de ocorrência. Litologicamente, as exposições dos derrames basálticos são constituídas por rochas de granulação fina a média, afanítica, ocasionalmente porfirítica. A disjunção colunar e esfoliação esferoidal, estruturas típicas de derrames espessos ocorrem também em corpos intrusivos ocupando uma posição aproximadamente média a alta na sucessão dos derrames (AMR-MS, 1990).

Os Divisores Tabulares caracterizam-se como: plano nos interflúvios e dissecados nas áreas mais próximas aos rios, configurando estreitos divisores tabulares que se adaptam as cabeceiras de seus afluentes da drenagem principal, com desníveis de 50 a 80m entre os topos planos e as áreas dissecadas. Ao norte da BHAS, os modelados planos assumem maior expressão.

Na borda leste da BHAS apresentou-se como Intergrade, caracterizado por relevos planos denominados de Chapadão das Emas e solos tipo Latossolo Vermelho Escuro com formação de Detrito Laterítico, por essas e outras características essa região é considerada o pólo



agrícola do Estado de Mato Grosso do Sul. Nesse caso é importante o monitoramento e manutenção do escoamento superficial minimizando os problemas com os baixos fluxos de água. A mecanização da produção agrícola nessa área deve ser avaliada conforme a sua utilização, para minimizar os processos de degradação, evitando impactos como erosões e baixa impermeabilização de água reduzindo a disponibilidade de água, de ar e de nutrientes no solo e sua compactação. Próximo as nascentes do rio Sucuriú é caracterizado como Moderadamente Instável por possuir baixa densidade vegetativa e por ser uma unidade geomorfológica de acumulação de inundação. Conforme AMR-MS, 1990, as áreas de Acumulação de Inundação são caracterizadas por uma área plana ou embaciada, zonal, argilosa e/ou arenosa, sujeita a inundações periódicas, ligadas ou não à rede de drenagem (AMR-MS, 1990).

A vegetação na região das nascentes do Rio Sucuriú é caracterizada como “varjão” (denominação local) ou vegetação típica de várzea, em uma área plana sujeita a inundação de divisa com o Estado de Goiás. A Bacia Hidrográfica do Alto Rio Sucuriú é uma região de nascentes e o seu divisor águas é seccionada por uma via não pavimentada, constituída de um aterro que separa as águas entre o Rio Sucuriú no estado de Mato Grosso do Sul e o Rio Amarelo no Estado de Goiás.

Entende-se que, a vulnerabilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Alto Sucuriú é caracterizada por mais da metade de sua área total como Moderadamente Instável constituída de áreas com alto grau de fragilidade em relação ao uso e ocupação da terra. Além disso, é necessário por parte dos órgãos pertinentes a realização do refinamento da escala dos dados fisiográficos (geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e clima), para dar subsídios da região da Bacia do Alto Sucuriú, para estabelecer o ordenamento e planejamento territorial da região e integrar estes dados aos estudos de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado.

#### **4. Conclusões**

A vulnerabilidade ambiental é um importante elemento a ser analisado em estudos ou planos voltados para os processos de tomada de decisão. Uma das formas de representação deste elemento é o mapa, tendo como objetivo a localização de áreas associadas ao grau de vulnerabilidade e fragilidade ambiental para fins de minimizar impactos relacionados à ocupação desordenada.

Em relação à aplicação do método e dos procedimentos utilizados, ficou evidente sua eficácia, pois, a aquisição, manipulação e armazenamentos dos dados da área de estudo foram processados e transformados em informações relacionadas à vulnerabilidade ambiental. O mapa gerado com as áreas das classes temáticas (estável, intergrade, moderadamente instável e instável) permitiu classificar, quantificar e avaliar a situação da vulnerabilidade e fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Alto Sucuriú.

#### **Agradecimentos**

Ao Programa de Mestrado em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pelo apoio, a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa de estudo e a PROPP/UFMS - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pelo apoio.

#### **Referências Bibliográficas**

Almeida, J.R. et al. *Planejamento ambiental*. Rio de Janeiro: Thex Ed.: Biblioteca Estácio de Sá, 1993.

Assad, E. D.; Sano, E. E. *Sistemas de Informação Geográficas: Aplicações na Agricultura*. Platina: Embrapa, 1993.

Atlas Multirreferencial. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul – SEPLAN. IBGE, 1990.

Barbosa C. C. Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico-Econômico. In *VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Santos. INPE. 1998. P. 497-500

Bonhan-Carter, Graeme. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. Canadá. 1994.

Câmara, G.; Medeiros, C.B.; Casanova, M.A.; Hermely, A.; Magalhães, G. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas, Instituto de Computação/UNICAMP. (1996)

Câmara, et al. *Banco de Dados Geográficos*. Curitiba: Mundo Geo, 2005

Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Hernandez, P.; Florenzano, T. G.; Duarte. Uso de Sensoriamento Remoto no Zoneamento Ecológico-Econômico. In *VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Salvador. INPE. 1996. P. 129-135

SEMAC/IMASUL. *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul*. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MMA/SRHAU 2009.

SEMAC/IMASUL. *Relatório da Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Mato Grosso do Sul*. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MMA/SRHAU 2008.

Tricart, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

Tricart, Jean L. F. *Paisagem & Ecologia*. F.F.L.C.H. – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1981.