

Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia Do Córrego Azul, Ivinhema – MS

*Environmental Characterization Vulnerability In The Watershed Of Blue Stream,
Ivinhema – MS*

Carlos Henrique da Silva Milanezi¹
Joelson Gonçalves Pereira²

Resumo: O uso desordenado da terra é hoje um dos grandes responsáveis por agravos ambientais nos corpos hídricos. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a vulnerabilidade ambiental na microbacia do Córrego Azul, em Ivinhema - MS, como subsídio de planejamento e gestão ambiental. Para tanto, foram empregadas técnicas de geoprocessamento, juntamente com processos do sensoriamento remoto e dados secundários de mapeamentos, para caracterizar os componentes geoambientais de uso do solo e geologia, os quais foram empregados como variáveis na avaliação da vulnerabilidade na microbacia. A integração das variáveis foi realizada com a aplicação de álgebra de mapas por meio da programação LEGAL, disponível no aplicativo SPRING 5.2.1, o que possibilita classificar e quantificar a variação da vulnerabilidade no interior da microbacia. Isso permitiu identificar os fatores geoambientais que mais influenciam a vulnerabilidade de cada classe. Como resultado, verificou-se que as áreas de alta vulnerabilidade ambiental correspondem a 12,65% da microbacia, enquanto a média vulnerabilidade ambiental ocupa cerca de 74,33%, e as áreas de baixa vulnerabilidade correspondem a 13,01%. Com o presente trabalho, pôde-se concluir que as áreas urbana, úmidas e de preservação permanente compõem os locais de alta vulnerabilidade ambiental, apresentando uma capacidade de mudança na estabilidade da microbacia. Espera-se que este estudo possa subsidiar o poder público no desenvolvimento de uma política de planejamento e ordenamento do uso e ocupação da terra que leve em consideração a variação da fragilidade ambiental do meio.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental. Ivinhema; SIG. Álgebra de mapas.

Abstract: *Uncontrolled land use is now largely responsible for environmental health problems in water bodies. In this sense, this study aimed to characterize the environmental vulnerability in the watershed of the Blue Stream in Ivinhema - MS, as a planning grant and environmental management. Therefore, geoprocessing techniques were employed, along with remote sensing and secondary processes of mapping data to characterize the geo-environmental components of land use and geology, which were used as variables in the assessment of vulnerability in the watershed. The integration of the variables was performed using the algebra application maps through LEGAL programming, available in SPRING 5.2.1 application, which allows to classify and quantify the vulnerability of variation within the watershed. This allowed us to identify the geo-environmental factors that influence the vulnerability of each class. As a result, it was found that high environmental vulnerability areas correspond to the watershed 12.65%, while the average environmental vulnerability occupies approximately 74.33%, and the areas of low vulnerability correspond to 13.01%. With this study, it was concluded that the urban areas, wetlands and permanent preservation make up the high local environmental vulnerability, with a capacity for change in the stability of the watershed. It is hoped that this study may support the government in developing a planning policy and land-use and occupation of land that takes into account the variation of the environmental fragility of the environment.*

Keywords: *Environmental vulnerability. Ivinhema; GIS. Map algebra.*

¹ Bacharel em Gestão Ambiental na Universidade Federal da Grande Dourados. Universidade Federal da Grande Dourados. Rodovia Dourados/Itahum, km 12, Unidade II, Caixa Postal: 364, CEP: 79.804-970, Dourados, MS. E-mail: Carlos_milanezi@yahoo.com.br

² Licenciatura Plena em Geografia pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (1999), Bacharelado em Geografia pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2000) e doutorado em Geografia (Geografia Humana) pela Universidade de São Paulo (2007). Professor adjunto da Universidade Federal da Grande Dourados/MS.

INTRODUÇÃO

A noção de vulnerável, do latim *Vulnerabilis*, corresponde ao ponto mais fraco ou que passa a ser mais vulnerável, mais acessível aos ataques (SÉGUIER, 1975). A vulnerabilidade está sempre relacionada à maior ou menor fragilidade de um determinado ambiente. Para Almeida & Guerra (2010), a degradação do solo e erosão são causadas pela intervenção entre o uso, vegetação e forças erosivas (erosividade, escoamento superficial e subsuperficial, energia eólica e solar). Admitem-se esses parâmetros, mais ainda são considerados os elementos sociais como pertinentes à problemática. Desta forma, os aspectos físicos e humanos são condicionantes que devem ser investigados para o mapeamento da vulnerabilidade ambiental.

A vulnerabilidade ou fragilidade ambiental está relacionada com a susceptibilidade de uma área em sofrer danos quando submetida a uma determinada ação (FIGUEIRÊDO *et al*, 2007). Para Coelho (2010), o mapeamento tende a retratar uma espacialização, ou seja, um processo de formação e distribuição espacial, temporal e social diferenciado dos impactos ambientais. Desta forma, o mapeamento de impactos ambientais, e porque não dizer também da vulnerabilidade ambiental, certamente guardará estreita relação com a espacialização diferencial das classes sociais na cidade, peculiar a cada momento de sua história social e política.

Auxiliado por meios de investigação, como documentação histórica, questionários e entrevistas, é possível inferir quais estruturas sócio-espaciais são dominantes no período do estudo. A representação cartográfica da vulnerabilidade aos processos erosivos, ou poluidores, ou o zoneamento por graus de riscos de erosão facilitam a compreensão da geografia dos impactos ambientais, relacionados à estrutura social dos diferentes ambientes urbanos (COELHO, 2010).

Para ocupação de uma área devem ser analisadas e complementadas informações através de estudos sobre a dinâmica ambiental. Estas análises ambientais devem servir de base para as políticas públicas (planos, programas e projetos), existentes nas diversas instituições e agências governamentais, nos centros de ensino e pesquisa, no setor privado e nas organizações da sociedade civil (ALMEIDA & GUERRA, 2010).

Tomando o município como recorte territorial, o Estatuto da Cidade, em seu Art. 4º inciso III, coloca o Plano Diretor e o zoneamento ambiental entre seus instrumentos de planejamento municipal. Neste contexto, o Plano Diretor deve servir como diretriz para o desenvolvimento do município, norteando usos e formas de ocupação e resultando em uma

lei. Entretanto, ainda que em alguns planos verifique-se a inclusão de mapas temáticos com menção a elementos ou aspectos ambientais, pouco se conhece sobre práticas de elaboração destes planos que de fato se preocupem com a questão ambiental ou que considerem as características de seu território no planejamento. Por outro lado, assim como a Política Nacional de Meio Ambiente, o Estatuto da Cidade aponta o zoneamento ambiental como um de seus instrumentos, embora poucas e diferenciadas práticas de elaboração deste instrumento sejam identificadas.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo mapear e caracterizar a vulnerabilidade ambiental da Microbacia do Córrego Azul, em Ivinhema/MS, como subsídio de planejamento e gestão ambiental.

REVISÃO DE LITERATURA

A Vulnerabilidade Ambiental e suas Diferentes Abordagens

O significado de vulnerabilidade não é consenso em estudos sobre o tema, dificultando a comparação dos resultados de trabalhos semelhantes. Metzger *et al.* (2006) e Schoter *et al.* (2004) relacionaram o conceito ao grau de susceptibilidade de um sistema aos efeitos negativos provenientes de mudanças globais. Nesse estudo, a susceptibilidade está relacionada ao grau de exposição de ecossistemas a mudanças ambientais, à sensibilidade (avaliada a partir de medidas dos impactos ambientais potenciais resultantes da exposição) e à capacidade de resposta da sociedade em adotar ações de ajuste às mudanças.

Li *et al.* (2006) relacionaram vulnerabilidade a características do meio físico e biótico (declividade, altitude, temperatura, aridez, vegetação, solo), à exposição a fontes de pressão ambiental (densidade populacional, uso da terra) e à ocorrência de impactos ambientais (erosão hídrica) em uma área montanhosa.

Barreto (2006), ao revisar métodos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos, utilizou um método que relaciona esse conceito a características do meio físico que tornam aquíferos mais ou menos sensíveis à contaminação por nitrato e agrotóxico.

Para Lima *et al.* (2000), a vulnerabilidade de um geossistema é avaliada analisando-se características dos meios físicos (solo, rocha, relevo, clima e recursos hídricos), biótico (tipo de vegetação) e antrópico (uso e ocupação do solo), que tornam o relevo mais ou menos instável ou sujeito a processos erosivos.

Tixier *et al.* (2005) relacionaram vulnerabilidade ao grau de exposição de pessoas e ambientes naturais a pressões (gases tóxicos, lançamento de efluentes etc.) que partem de uma unidade industrial, considerando características do ambiente (densidade populacional, uso e ocupação do solo).

Tran *et al.* (2002) relacionaram vulnerabilidade à exposição de uma bacia a pressões (densidade populacional, densidade de rodovias, uso e ocupação do solo) e a impactos ambientais potenciais (poluição por ozônio), em uma análise de 123 bacias hidrográficas nos Estados Unidos, considerando indicadores provenientes de um atlas ecológico.

Zielinski (2002) propôs uma análise de vulnerabilidade pela avaliação da área impermeabilizada de microbacias hidrográficas, relacionando esse conceito a uma característica do meio (pavimentação do solo).

Villa e McLeod (2002), por sua vez, relacionaram a vulnerabilidade a processos intrínsecos que ocorrem em um sistema, decorrente do seu grau de conservação (característica biótica do meio) e resiliência ou capacidade de recuperação após um dano, e a processos extrínsecos, relacionados à exposição a pressões ambientais atuais e futuras.

Observa-se que o conceito de vulnerabilidade se refere a determinadas questões, problemas ou impactos ambientais (mudança climática, erosão etc.). Segundo Gallopin (2006), é importante definir quais perturbações serão objeto do estudo, uma vez que um sistema pode ser vulnerável a um tipo de problema, enquanto a outros não.

Também, observa-se que esse conceito está atrelado a outros, como exposição a pressões, impacto ambiental (real ou potencial), sensibilidade do sistema ecológico, capacidade adaptativa da sociedade, resiliência e susceptibilidade à ocorrência de efeitos negativos (envolve exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa). Embora em alguns trabalhos tenham sido realizadas medidas de impacto real em estudos de vulnerabilidade, Gallopin (2006) avaliou que esse termo é usualmente compreendido como a susceptibilidade de um sistema a um dano potencial ou transformação, quando sujeito a uma perturbação ou pressão ambiental, em vez de medida de um dano real.

De acordo com Adger (2006), as definições de vulnerabilidade, usualmente, atrelam esse conceito a um ou mais dos seguintes fatores: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta do sistema. O estudo desses fatores permite a avaliação da maior ou menor vulnerabilidade de um sistema a determinadas questões ambientais. A exposição significa o grau, duração ou extensão em que o sistema está em contato com perturbações. A sensibilidade está relacionada à extensão ou ao grau em que

um sistema pode absorver as pressões sem sofrer alterações no longo prazo. A capacidade adaptativa é a habilidade do sistema de se ajustar a um dano ocorrido, fazer uso de recursos ou oportunidades ou responder a mudanças ambientais que venham a ocorrer. Nesse contexto, um sistema é mais vulnerável quanto maiores as pressões, maior a sensibilidade do meio e menor sua capacidade adaptativa.

Analisando a literatura sobre vulnerabilidade, Gallopin (2006) avalia que as definições de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa assumem diferentes significados, devendo-se esclarecer o que se entende por esses termos em avaliações de vulnerabilidade. Exemplificando, em estudos de vulnerabilidade à mudanças climáticas e globais (METZGER *et al.*, 2006; SCHOTER *et al.*, 2004), a capacidade adaptativa é compreendida como a existência de ações sociais, econômicas e ambientais que permitem à sociedade melhor se adaptar às possíveis mudanças ambientais. Entretanto, o termo “capacidade adaptativa” também é utilizado para denotar a resiliência de um ecossistema, ou sua capacidade de manter a estabilidade ecológica frente a pressões externas. Segundo Villa e McLeod (2002), a definição de indicadores de resiliência é complexa devido à escassez de pesquisas que forneçam indicativos de resiliência, nos diversos tipos de ecossistemas, a determinados fatores de pressão.

Percebe-se, então, que estudos usualmente consideram pelo menos um dos fatores: a exposição de um sistema à perturbações, a sensibilidade do meio e capacidade adaptativa, sendo necessário o pronto esclarecimento desses conceitos em análises de vulnerabilidade.

Para o presente trabalho, buscou-se abordar a vulnerabilidade ambiental em um contexto restrito a fragilidade do meio e sua susceptibilidade a alterações rápidas em função de agravos ambientais.

As Ferramentas e Inovações no Planejamento Territorial no Brasil

A Pesquisa de Informações Básicas Municipais - MUNIC, realizada pelo IBGE em 2002 e publicada em 2005, permite um registro sobre a incidência de desastres naturais no Brasil. Essa pesquisa foca a ótica do gestor municipal, mostrando que no Brasil os maiores desastres naturais relacionam-se a inundações, escorregamentos e erosão e que esses processos estão fortemente associados à degradação de áreas frágeis, potencializada pelo desmatamento e ocupação irregular (DOS SANTOS, 2007).

Dados revelaram que cerca de 50% dos municípios brasileiros declararam ter sofrido algum tipo de alteração ambiental nos 24 meses anteriores a pesquisa e, dentre estes, cerca de 16% sofreram com deslizamento de encosta e 19% com inundações. Outro fenômeno enfocado é a alteração da paisagem causada pela erosão do solo, resultando em voçorocas, ravinas e deslizamentos.

Buscando garantir a função ambiental e evitar que áreas potenciais se transformassem em áreas de risco, a legislação ambiental prevê a existência de áreas de preservação permanente ao longo de rios, lagos e lagoas, em encostas íngremes e topos de morro, são as chamadas APPs. Essas áreas, naturalmente mais suscetíveis a processos como inundações e escorregamentos, estão protegidas legalmente, inclusive em áreas urbanas.

Desta forma, é fundamental que a estratégia para redução de desastres, sob a ótica do desenvolvimento sustentável, enfoque proposições no sentido de fortalecer políticas de ordenamento territorial com ênfase na gestão ambiental, concomitantes a políticas de acesso a habitação, as políticas de combate ao desmatamento e de combate à degradação de áreas ambientalmente vulneráveis, ações estas que atuam diretamente na prevenção a desastres.

Em suma, o uso impróprio dos recursos naturais, a ocupação de áreas com maior susceptibilidade natural e o desmatamento são, no Brasil, os principais fatores que potencializam a ocorrência de desastres naturais. Porém, havendo vontade política, haverá um gerenciamento apropriado, ou seja, que respeita a legislação, os planejamentos e planos ambientais existentes. Assim, poderá ser criada uma ferramenta de gestão valiosa, que contribui para a redução dos impactos sobre o bem-estar da população.

Em um cenário mais próximo, foi aprovado, em 11 de outubro de 2011, a Medida Provisória nº 547, que altera a Lei nº 6.766/79 (Parcelamento do Solo Urbano), a Lei nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade) e a Lei nº 12.340/2010 (Sistema Nacional de Defesa Civil - SNDEC) e cria a obrigatoriedade dos municípios elaborarem mapeamento contendo as áreas propícias à ocorrência de escorregamentos de grande impacto ou processos geológicos correlatos; bem como para criar cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo urbano.

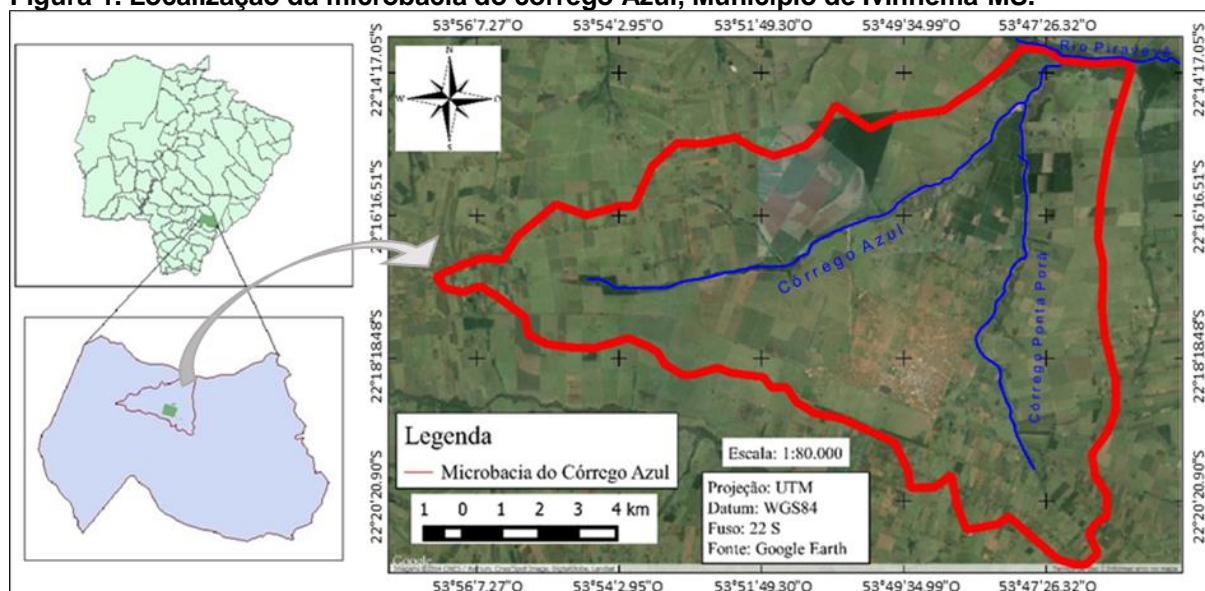
Os SIGs podem fornecer valiosas contribuições no apoio às tarefas e aos projetos de planejamento cada vez mais complexos. Obtenção, arquivo, gestão, manipulação, análise e difusão de dados são as tarefas de um SIG. Portanto, são utilizados

para a documentação e visualização, bem como para a análise de fenômenos (LANG & BLASCHKE, 2009).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho teve como área de estudo a microbacia do Córrego Azul, localizada na região central do município de Ivinhema-MS. A microbacia possui uma área de aproximadamente 118 km² e pertence à sub-bacia do rio Piravevê, afluente do Rio Ivinhema (Figura 1).

Figura 1. Localização da microbacia do córrego Azul, Município de Ivinhema-MS.



Fonte: Milanezi (2014).

O trabalho foi desenvolvido como uma pesquisa de caráter quantitativo, sistêmico e não experimental, mediante o emprego de técnicas de geoprocessamento cujos procedimentos operacionais foram favoráveis à construção de um diagnóstico ambiental da microbacia, no contexto da vulnerabilidade ambiental.

A base cartográfica da microbacia foi implementada em ambiente SIG, sendo adotados como parâmetros cartográficos a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Elipsóide World Geographic System 1984 (Datum WGS 84) e zona meridiana 22. A estrutura de banco de dados georreferenciados foi produzida com o emprego do aplicativo SIG Quantum GIS, versão 2.2. Este programa dispõe de funcionalidades que possibilitam análise espacial de bacias hidrográficas, além de permitir a integração e visualização de dados espaciais, como os arquivos em *shapefiles* de mapeamentos fornecidas por

diferentes instituições, e as imagens de alta resolução disponíveis no aplicativo *Google Earth*.

A delimitação da microbacia hidrográfica do córrego Azul foi produzida com o emprego de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) disponibilizados pela Embrapa Monitoramento por Satélite. Os dados SRTM consistem em modelos digitais de elevação (MDE) produzidos pela Agência Espacial Norte Americana, em 2001, e apresentam uma grade regular de amostragem de altitude numa resolução original de 90 metros. Esses mesmos dados, uma vez processados, são fornecidos pela Embrapa Monitoramento por Satélite, com uma reamostragem de 30 metros.

O contorno da microbacia foi produzido de forma automática em ambiente SIG, com a aplicação de uma rotina de algoritmos implementados em linguagem de programação. A aplicação dessa técnica permite a identificação dos divisores de água, correspondentes aos limites de microbacias, a partir da leitura da direção de fluxos das células do MDE. No aplicativo SIG Quantum Gis 1.8, este recurso encontra-se disponível no repositório de ferramenta *Grass*.

Para esse procedimento, o processamento dos dados SRTM foi submetido a uma rotina composta de quatro etapas, a saber: 1) criação de uma estrutura de dados GRASS; 2) delimitação de bacias com a aplicação da ferramenta *Watershed*, que permitiu a delimitação das microbacias sobre o dado SRTM; 3) conversão do arquivo de microbacias de representação raster para vetor; 4) seleção e recorte da microbacia correspondente à área estudada.

Dada a indisponibilidade de dados de sensoriamento remoto atualizados de alta resolução espacial da área estudada, a integração e visualização das imagens *Google Earth* no Quantum GIS 2.0 permitiu a caracterização da estrutura de uso e ocupação do solo, dentro da precisão e detalhamento requeridos para análise de microbacias.

O *Google Earth* tem adquirido popularidade entre os usuários e pessoas das áreas de geotecnologias. A integração desse dispositivo com os Sistemas de Informação Geográfica tem possibilitado o seu uso para o diagnóstico, planejamento e gestão ambiental e territorial.

A caracterização do uso e ocupação do solo foi elaborada com a finalidade de contribuir para um entendimento da distribuição espacial das principais atividades desenvolvidas na área e uma compreensão das inter-relações das formas de ocupação.

O mapa de uso e ocupação do solo apresenta remanescentes da cobertura vegetal natural e áreas antrópicas. Para realização de tal mapeamento foram utilizadas

técnicas de interpretação visual das imagens orbitais. Segundo Marchetti e Garcia (1977), a fotointerpretação é a técnica de examinar as imagens buscando identificar padrões de representação de objetos nas fotografias aéreas e dados orbitais, tendo em vista obtenção de informações da superfície terrestre.

Os dados de geologia e solos foram obtidos do Macrozoneamento Geoambiental de Mato Grosso do Sul (1990), escala 1:500.000, desenvolvido pela Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral e disponibilizado em arquivos *shapefiles* pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul – IMASUL.

Para a geração do mapa de declividade também foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE), produzido a partir da imagem SRTM, código SF-22-Y-A, obtida no site da EMBRAPA Monitoramento por Satélite, interpolado com resolução geométrica de 30 metros. O fatiamento dos gradientes de declividade foi gerado com o auxílio do programa Spring 5.2.1. A definição das classes de declividade seguiu o modelo proposto pela Palmieri (1979).

A integração dos temas mapeados, a partir do relacionamento de suas variáveis, foi realizada por operação de álgebra de mapas executada em ambiente LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), recurso para criação de linguagem de programação, disponível no SIG Spring. Isso permitiu a geração do mapa da vulnerabilidade ambiental na microbacia, o qual representa a variação de vulnerabilidade nesta área, sendo classificada em três níveis: baixa, média e alta vulnerabilidade.

Para o estabelecimento dos pesos de vulnerabilidade às categorias temáticas geoambientais recorreu-se ao conceito de análise ecodinâmica de Tricart (1977), adaptado por Crepani *et al.* (1996), pelo qual puderam ser definidas as condições de estabilidade de cada classe.

As unidades ecodinâmicas foram classificadas em três categorias morfodinâmicas: meios estáveis, intergrades e meios instáveis. Assim, as áreas em que prevalecem os processos de morfogênese são consideradas como ambientes instáveis, sendo atribuído um peso 3 para ponderação da vulnerabilidade, enquanto que para as variáveis em que predominam a pedogênese (estáveis), atribuiu-se o peso 1. Nas áreas de equilíbrio entre ambas variáveis, definidas como estabilidade intermediária ou intergrades, foi aplicado o peso 2. No caso específico da variável declividade, considerada o fator de menor influência na definição da vulnerabilidade, foi aplicada uma regra de ponderação equivalente à metade dos pesos atribuídos às demais variáveis geoambientais adotadas na análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Morfológica da Microbacia

A análise morfológica da microbacia permite descrevê-la como uma unidade de drenagem de baixa circularidade, com dimensões aproximadas de 20 km de largura entre divisores ao noroeste – sudeste e 14 km de extensão entre o divisor sul e o seu exutório no rio Piravevê, ao norte. Compreende, em toda sua extensão, um relevo plano a suave ondulado, constituído predominantemente por declividades situadas no gradiente de 0 a 8% (EMBRAPA, 2009).

O curso d'água principal da microbacia, denominado Córrego Azul (Figura 1), se estende por aproximadamente 17 km, desde sua nascente, situada no interior da Reserva dos Capucci, porção central do perímetro do município de Ivinhema, até sua foz na margem direita do rio Piravevê, à jusante da ponte da MS 141 situada sobre este mesmo rio, na divisa com o município de Angélica. Está sobre forte influência da área urbana do município, sendo que, a área urbana está totalmente inserida na microbacia estudada.

Geologia e Solos

No aspecto geológico é identificada apenas uma unidade litológica na área da microbacia do córrego Azul, representada pela Formação Caiuá. Esta formação é constituída por rochas areníticas de idade mesozóica, muito porosas e facilmente desintegradas (MATO GROSSO DO SUL, 1990). Essas características garantem uma boa permeabilidade da água sobre essa formação, contribuindo, assim, para a recarga dos aquíferos subterrâneos, nos locais em que a mesma se encontra.

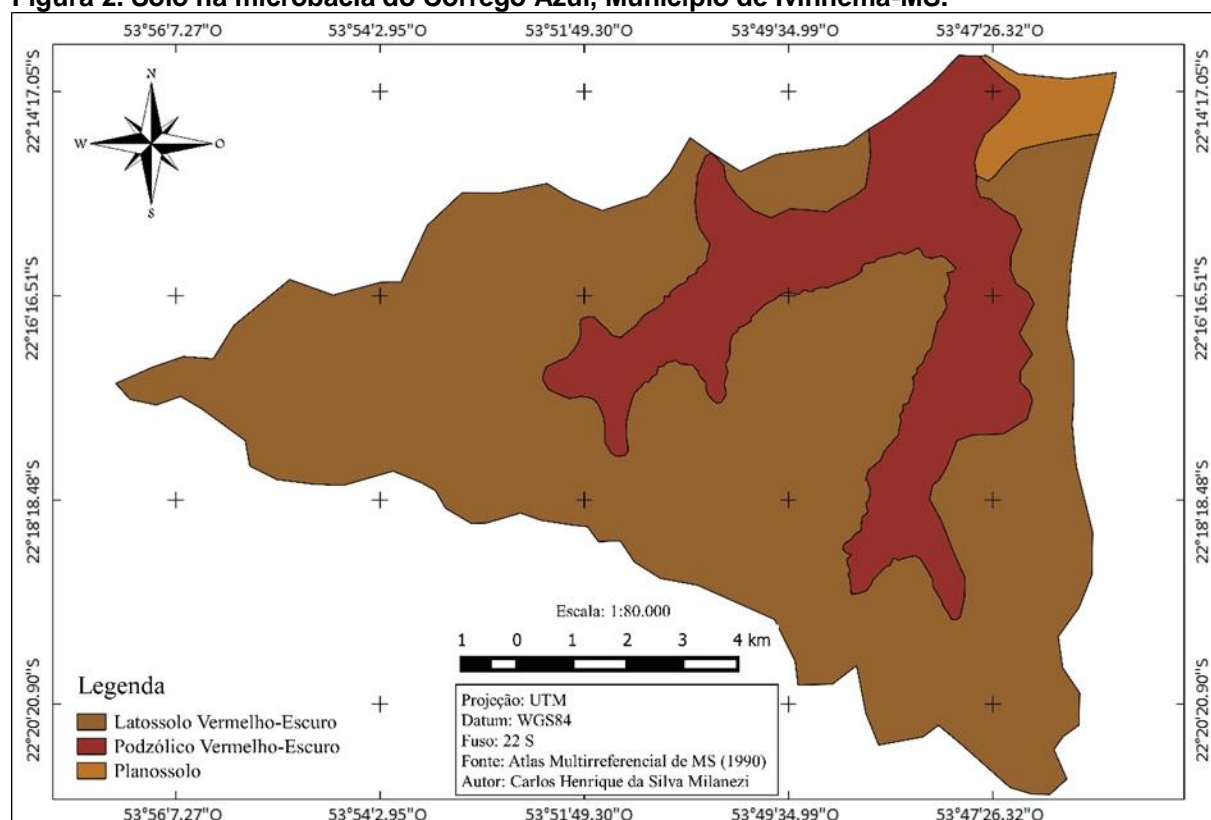
Devido à área estar totalmente inserida em uma única formação geológica, trata-se apenas de uma variável. Deste modo, a geologia não determinará uma variação espacial da vulnerabilidade ambiental ao longo da microbacia.

De acordo com o Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul (1990), três tipos de solo abrangem a área, sendo: Latossolo Vermelho-Escuro, Podzólico Vermelho-Escuro e Planossolo (Figura 2).

O Latossolo Vermelho-Escuro pode ser caracterizado como solos minerais, não hidromórficos, altamente intemperizados e em geral são profundos e muito profundos, bem drenados e bastante porosos, encontrados nas áreas mais aplanadas. O Podzólico

Vermelho-Escuro apresenta características intermediárias para Latossolo, apresentando pequena diferenciação entre os horizontes e fraco desenvolvimento de estrutura, podendo ser encontrando, em relevo plano e suave ondulado, erosão ligeira sob vegetação de savana. Enquanto o Planossolo geralmente é pouco profundo a profundo, tendo como característica principal a mudança textural abrupta entre o horizonte A e Btg, podendo apresentar erosão moderada (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

Figura 2. Solo na microbacia do Córrego Azul, Município de Ivinhema-MS.



Fonte: Mato Grosso do Sul, 1990. Edição: Milanezi (2014).

Para os três tipos de solos diferentes existentes na área de estudo, foram atribuídos pesos de acordo com suas características, conforme Tabela 1 abaixo.

A distribuição dos tipos de solo revela o predomínio do Podzólico Vermelho-Escuro, o qual se estende por 75,11% da área da microbacia (tabela 1). A classe do Latossolo Vermelho-Escuro se desenvolve sobre os fundos de vale, ocupando 22,64% da área estudada, enquanto que o Planossolo se restringe à área mais baixa da microbacia, representando um ambiente deposicional, próxima ao seu exutório.

Tabela 1 – Distribuição e representação das classes de solos por pesos.

Solos	Peso	Área (km ²)	Área (%)
Podzólico Vermelho-Escuro	3,0	26,85	22,64%
Latossolo Vermelho-Escuro	3,0	89,05	75,11%
Planossolo	2,0	2,67	2,25%
Total		118,56	100,00%

Fonte: Milanezi (2014).

Declividade

Neste estudo a metodologia aplicada para avaliar a vulnerabilidade considerou a inclinação do relevo em relação ao horizonte, ou seja, quanto maior a declividade maior a sua susceptibilidade a agravos. Esta inclinação é responsável pela transformação da energia potencial em energia cinética, promovendo o aumento da velocidade das massas de água escoadas superficialmente. Dessa forma, a maior capacidade de erosão que esculpe as formas de relevo faz prevalecer a morfogênese. Segundo Dias (2012), a própria força da gravidade, sem a presença de água superficial, devido à inclinação do relevo, sempre adiciona uma componente descendente das partículas rochosas se movendo nas encostas.

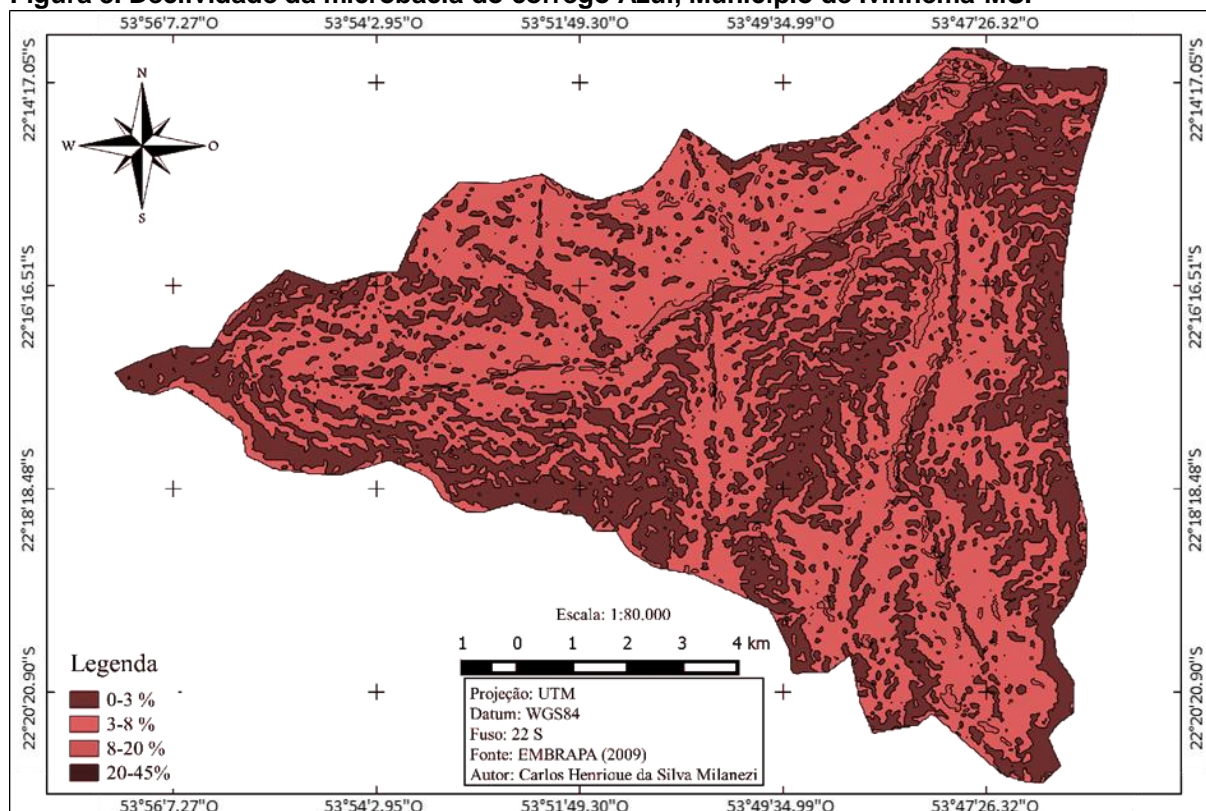
Crepani et. al. (2001), descreve a atuação da força de gravidade responsável pela morfogênese quando facilitado pelo componente morfométrico declividade:

O coeficiente de atrito de uma partícula em movimento é igual à relação entre a componente da força de gravidade que atua ao longo da encosta (componente de deslize, que é proporcional ao seno do ângulo de inclinação da encosta) e a componente da força de gravidade que atua perpendicularmente à encosta (componente de aderência, que é proporcional ao cosseno do ângulo de inclinação da encosta), logo o coeficiente de atrito de uma partícula em movimento ao longo de uma encosta é igual à tangente do ângulo de inclinação da encosta. Como poucos materiais possuem coeficiente de atrito superior a 1, as partículas rochosas separadas pelo intemperismo dificilmente serão retidas em encostas com ângulo de inclinação maior que 45° (tangente de 45°=1), situação em que não haverá possibilidade de formação de solo, ou pedogênese, ocorrendo apenas a exposição contínua de material rochoso, ou morfogênese. (CREPANI *et. al.*, 2001, p. 75).

Desta forma, os agrupamentos que contém os intervalos de declividades são avaliados segundo o aumento da inclinação. Quanto maior a percentagem de inclinação das classes maior a vulnerabilidade.

Assim, a partir dos dados de SRTM disponibilizados pela EMBRAPA, gerou-se o mapa de declividade da área estudada, conforme Figura 3.

Figura 3. Declividade da microbacia do córrego Azul, Município de Ivinhema-MS.



A distribuição das classes de declividade revela o predomínio do relevo suave-ondulado, o qual se estende por 59,16% da área da microbacia (Tabela 2). A classe de relevo plano se desenvolve sobre áreas mais altas, ocupando 37,76% da área estudada, enquanto que as classes ondulado e forte-ondulado ocupam respectivamente, 3,06 e 0,02% da área, restringindo-se às áreas mais baixas da microbacia com uma variação de 8 a 24% de declividade.

Tabela 2 – Classes de declividade presentes na área.

Declividade (%)	Descrição	Peso	Área (km ²)	Área (%)
0 – 3	Plano	0,5	44,77	37,76%
3 – 8	Suave-ondulado	1,0	70,14	59,16%
8 – 20	Ondulado	1,5	3,62	3,06%
20 – 45	Forte-ondulado	1,5	0,03	0,02%
Total			118,56	100,00%

Fonte: Milanezi (2014).

Uso da Terra

A classificação por regiões consiste em rotular, como uma classe, os polígonos que apresentam mesma similaridade. Neste trabalho, o nível de detalhamento da escala espacial adotada para o mapeamento, implicou no estabelecimento de um modelo de classificação com a definição das classes temáticas que representam os tipos de uso e ocupação do solo presentes na área (Tabela 3). As classes de uso e ocupação do solo presentes na área podem ser descritas como:

- Área Urbana: corresponde à área caracterizada pela edificação continuada e a existência de equipamentos sociais destinados às funções urbanas básicas, como habitação, trabalho, recreação e circulação;
- Fragmento Florestal: são áreas de vegetação natural, interrompidas por barreiras antrópicas ou naturais;
- Área Úmida: são as áreas com solos hidromórficos que ocupam áreas planas, baixas, de formação sedimentar recente que margeiam os corpos hídricos;
- Capoeirão: são as florestas em estágio de médio regeneração, com flora em processo de substituição do estágio inicial para o estágio avançado da floresta.
- Floresta Plantada: correspondem às florestas plantadas intencionalmente pelo homem;
- Agropastoril: áreas caracterizadas pelo uso de atividades agrícolas e pecuárias;
- Área de Preservação Permanente: para as áreas de APP foi considerada uma faixa de 30 metros para ambos os lados dos corpos hídricos.

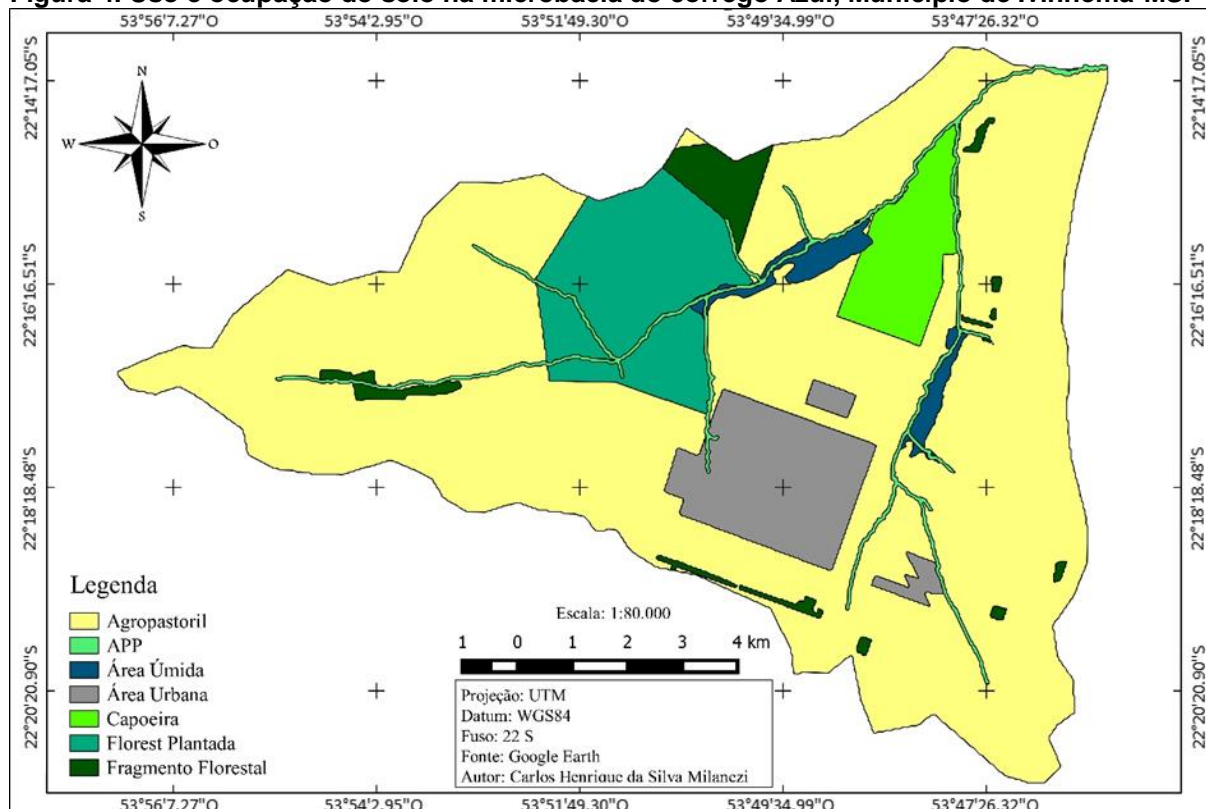
Tabela 3 – Classes de uso e ocupação do solo.

Uso da Terra	Peso	Área (km ²)	Área (%)
Área Urbana	3,0	8,36	7,06%
Fragmento Florestal	1,0	3,05	2,57%
Área Úmida	3,0	1,72	1,45%
Capoeirão	2,0	4,59	3,87%
Floresta Plantada	1,0	10,63	8,96%
Agropastoril	2,0	87,56	73,85%
Área de Preservação Permanente	3,0	2,65	2,24%
Total		118,56	100,00%

Fonte: Milanezi (2014).

A microbacia do córrego Azul apresenta potencial possibilidade para intensificação de seu processo de ocupação motivada pela concentração da área urbana em seu interior (Figura 4).

Figura 4. Uso e ocupação do solo na microbacia do córrego Azul, Município de Ivinhema-MS.



Fonte: Milanezi (2014).

Entre 2009 e 2012, a microbacia passou por diversas mudanças quanto ao uso e ocupação de seu território, sendo que a classe floresta plantada, inexistente até então, ocupa atualmente 8,96% da área da microbacia e a classe área urbana passou de 6,14% para 7,06% da área estudada. A distribuição das classes de uso e ocupação do solo revela ainda o predomínio do uso agropastoril, o qual se estende por 73,85% da área da microbacia.

Vulnerabilidade Ambiental

A integração das temáticas geoambientais possibilitou identificar a variação da suscetibilidade à agravos ambientais na microbacia. Isso permitiu constatar que 12,65% da área total da microbacia pode ser classificada como alta vulnerabilidade ambiental (Tabela 4). A área é ocupada predominantemente pela classe correspondente à média

vulnerabilidade ambiental, a qual representa 74,33% de sua extensão total, ao passo que 13,01% são representadas por áreas de baixa vulnerabilidade, onde predomina um processo morfodinâmico mais lento (Figura 5).

Tabela 4 – Vulnerabilidade ambiental da microbacia do Córrego Azul, Ivinhema/MS.

Vulnerabilidade	Área (km ²)	Área (%)
Alta	15,23	12,65%
Média	88,13	74,33%
Baixa	15,43	13,01%
Total	118,56	100,00%

Fonte: Milanezi (2014).

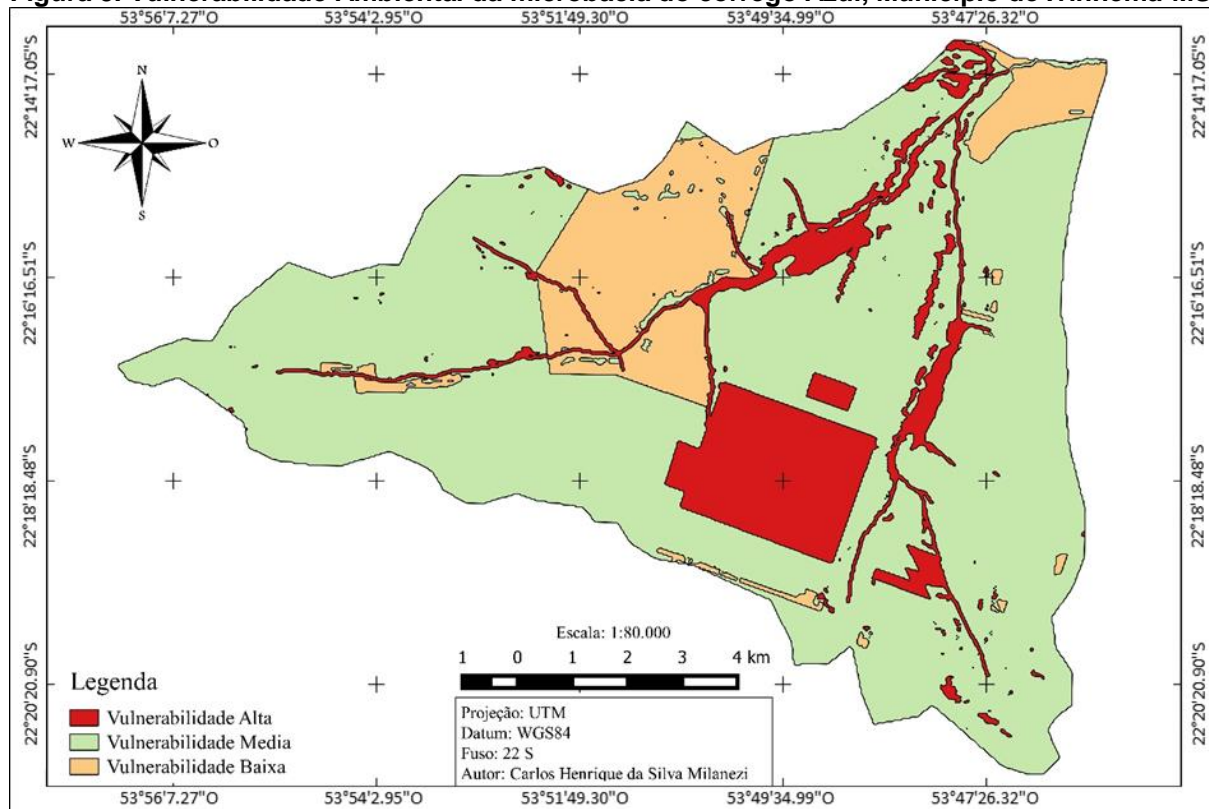
A baixa vulnerabilidade corresponde às áreas de maior estabilidade na microbacia. O equilíbrio dessas áreas é determinado pelo predomínio de fragmentos florestais e floresta plantada (eucalipto) sobre terrenos com relevo plano a suavemente ondulado. Mesmo que constituídas por Latossolo Vermelho-Escuro e Podzólico Vermelho-Escuro, a cobertura e uso do solo, associada aos baixos gradientes de declividade condicionam essas áreas a uma atuação menos intensa de processos morfodinâmicos.

A média vulnerabilidade corresponde à classe mais expressiva presente na microbacia. Compreende os locais com predomínio do uso agropastoril, solo com características de fraco desenvolvimento estrutural e com um relevo perpassando de plano e a suavemente ondulado. O uso econômico requer o emprego de técnicas especiais de manejo, a fim de evitar e controlar a formação de processos erosivos que podem ser intensificados, em função da atuação dos processos morfodinâmicos já atuantes nessas áreas.

Por fim, a vulnerabilidade alta compreende as áreas representadas pelos fundos de vale, áreas úmidas e APP's, neste último caso, geralmente, ausentes de matas ciliares, assim como pela presença de área urbana. O predomínio dessas áreas sobre solos de textura arenosa, principalmente quando associado à declividades mais acentuadas e de maior concentração de escoamento superficial, como é o caso dos fundos de vale e áreas marginais às redes de drenagem, contribui para a atuação de processos morfodinâmicos mais intensos, tornando as mesmas suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos mais intensos.

Nas áreas referentes ao uso urbano, esta condição é mais acentuada, em função da alta velocidade e volume de água em movimento originadas pelo escoamento superficial, principalmente em períodos de chuva, agravada pela impermeabilização do solo e pela deficiência na infraestrutura de drenagem, como assoreamento dos dispositivos existentes e quantidade insuficiente.

Figura 5. Vulnerabilidade Ambiental da microbacia do córrego Azul, Município de Ivinhema-MS.



A caracterização da vulnerabilidade ambiental e sua correlação com as categorias morfodinâmicas nela atuantes, permite a designação das seguintes recomendações que orientam a gestão da área no sentido de garantir a sustentabilidade da microbacia (Quadro 1).

CONCLUSÃO

A análise da vulnerabilidade ambiental da microbacia do córrego Azul com o emprego de recursos gratuitos de sensoriamento remoto e SIG, como dados SRTM disponibilizados pela Embrapa Monitoramento por Satélite e os aplicativos Quantum Gis 1.8, Spring 5.2.1, GRASS e *Google Earth*, permitiu classificar, quantificar e mapear a distribuição das diferentes unidades morfodinâmicas presentes na área de estudo, assim como a susceptibilidade do meio as alterações causadas pela interferência antrópica.

Quadro 1: Recomendações para a gestão das áreas de vulnerabilidade ambiental da microbacia do Córrego Azul

Unidades de Vulnerabilidade	Categorias Morfodinâmicas	Características na Microbacia	Recomendações
Vulnerabilidade baixa	Áreas estáveis	Compreende áreas com predomínio de fragmentos florestais e floresta plantada (eucalipto) sobre terrenos com relevo plano a suavemente ondulado. A cobertura e uso do solo, associada aos baixos gradientes de declividade condicionam essas áreas a uma atuação menos intensa de processos morfodinâmicos.	Deve ser incentivada a utilização racional destas áreas, de forma que as formações florestais que estão sobre elas sejam mantidas e ampliadas para outras áreas.
Vulnerabilidade média	Intergrades	Compreende os locais com predomínio do uso agropastoril, solo com características de fraco desenvolvimento estrutural e com um relevo perpassando de plano e a suavemente ondulado.	O uso dessas áreas deve ser limitado a atividades que não desprotejam o solo nem o impermeabilize, respeitando o gradiente de declividade.
Vulnerabilidade alta	Áreas instáveis	Compreende as áreas representadas pelos fundos de vale, áreas úmidas e APP's, O predomínio dessas áreas sobre solos de textura arenosa, principalmente quando associado à declividades mais acentuadas e de maior concentração de escoamento superficial contribui para a atuação de processos morfodinâmicos mais intensos, tornando-as suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos intensos.	O uso das áreas mais instáveis, deve ser normatizado com mais rigor, devendo ser limitado à proteção dos corpos hídricos e áreas úmidas. Na área urbana devem ser tomadas medidas para melhorar a drenagem pluvial, sobretudo nos exutórios do sistema de coleta de água das chuvas.

Fonte: Milanezi (2014).

A análise destas variáveis geoambientais auxilia na tomada de decisão, pois gera indicadores que subsidia o planejamento estratégico para a resolução de conflitos socioambientais envolvidos nas áreas de maior vulnerabilidade.

Neste sentido, o produto gerado também pode ser utilizado para nortear planos de ação, projetos e financiamentos governamentais que contribuam com a gestão do território dos municípios.

A metodologia utilizada neste trabalho mostrou ser uma importante ferramenta para a gestão pública, que deve levar em consideração as condições geoambientais do seu território, fazendo com que os processos naturais, como a pedogênese e a morfogênese, que levam milhares de anos para ocorrer, não sejam acelerados com o mau uso da terra, evitando grandes modificações na paisagem, além da fragilização dos ecossistemas e a perda de produtividade das áreas agricultáveis.

Desta forma, o uso da terra em conformidade com suas características morfodinâmicas e de vulnerabilidade, designando sua destinação a funções e usos mais adequados às suas características físicas, deve promover a recuperação de áreas já comprometidas pelo desenvolvimento de atividades que intensificam a instabilidade do meio. Contudo se os fatores ambientais não forem levados em consideração no processo de uso da terra, a modificação do terreno pode ocorrer de forma desequilibrada e até mesmo irreversível.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W. Neil. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 268-281, 2006.
- ALMEIDA, Flávio Gomes de; GUERRA, Antônio José Teixeira. Erosão dos Solos e Impactos Ambientais na Cidade de Sorriso (Mato Grosso). In: GUERRA, Antônio José Teixeira; DA CUNHA, Sandra Baptista. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 253-274.
- BARRETO, Francisco Maurício de Sá. **Contaminação da água subterrânea por pesticidas e nitrato no Município de Tianguá, Ceará**. 2006. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006.
- BRASIL. Lei Federal nº 12340, de 1 de dezembro de 2010. Execução de Ações de Prevenção em Áreas de Risco de Desastres. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 2 dez. Seção 1, pt. 1, p 192.
- BRASIL. Lei Federal nº 10257, de 10 de julho de 2001. Diretrizes Gerais da Política Urbana. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 11 jul. Seção 1, pt. 1, p 80.

- BRASIL. Lei Federal nº 6766, de 19 de dezembro de 1979. Parcelamento do Solo Urbano. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, D.F.**, 18 jul. Seção 1, pt.1, p 120.
- COELHO, Maria Célia Nunes. Impactos Ambientais em Áreas Urbanas. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; DA CUNHA, Sandra Baptista. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**, 6º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. P. 19-46.
- COSTA, Fabiane Hilario dos Santos. et al. Determinação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, v. 2, n. 58, p. 119-127, ago. 2006.
- CREPANI, Edson. et al. Uso de Sensoriamento Remoto no Zoneamento Ecológico-econômico. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 8, 1996, Salvador. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador: INPE, 1996. p. 267-273.
- CREPANI, Edson. et al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 113 p.
- DIAS, Valdirene Silva Brito. **Análise Hierárquica Processual (AHP) na Modelagem da Vulnerabilidade Ambiental do Microcorredor Ecológico Serra das Onças (BA)**. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 1999. 412 p.
- FIGUEIRÊDO, Maria Clea Brito. et al. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios à Eutrofização. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 399-409, out. 2007.
- GALLOPIN, Gallopín C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 293-303, 2006.
- LI, Ainong. et al. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS – a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. **Ecological Modeling**, v. 192, p. 175–187, 2006.
- LIMA, Luiz Cruz; MORAIS, Jáder Onofre de; SOUZA, Marcos José Nogueira de. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: Fundação Universidade Estadual do Ceará, 2000. 268 p.
- MARCHETTI, Delmar Antônio Bandeira; GARCIA, Gilberto J. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 1977. 257 p.
- MATO GROSSO DO SUL. **Macrozoneamento Geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande-MS: Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral, 1990. 227 p.
- METZGER, Marc J.; et al. The vulnerability of ecosystem services to land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 114, p. 69-85, 2006.
- MILANEZI, Carlos Henrique da Silva. **Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia do Córrego Azul, Ivinhema-MS** [trabalho de conclusão de curso]. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, Curso de Gestão Ambiental, Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, 2014
- PALMIERI, Francesco. et al. (Org.), **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. 83 p.
- VULNERÁVEL. In: SÉGUIER, Jaime de. **Dicionário prático ilustrado**. Porto: Chardron, 1935. p. 1779.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. (Org.), **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. 192 p.

SCHOTER, Dagmar. et al. Vulnerability assessment - analysing the human-environment system in the face of global environmental change. **The ESS Bulletin**, v. 2, p. 11-17, 2004.

TIXIER, Jacques. et al. Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project. **Journal of Hazardous Materials**, v. 130, p. 251-264, 2005.

TRAN, Liem T. et al. Fuzzy Decision Analysis for Integrated Environmental Vulnerability Assessment of the Mid-Atlantic Region. **Environmental Management**, v. 29, p. 845-859, 2002.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro. IBGE-SUPREN, 1977. 97 p.

VILLA, Ferdinando; McLEOD, Helena. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications. **Environmental management**, v. 29, p. 335-348, 2002.

Recebido em 18/05/2015

Aceito em 14/06/2016