



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL A INUNDAÇÃO EM CORDEIRÓPOLIS/SP

GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO THE STUDY OF ENVIRONMENTAL VULNERABILITY TO FLOODING IN CORDEIRÓPOLIS/SP

(Recebido em 22-08-2023; Aceito em: 25-03-2024)

Paulo Henrique Vieira

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
UNESP – Rio Claro, Brasil
paulohenrique.vieira@yahoo.com.br

Resumo

As interações entre a sociedade e a natureza tornaram-se debates em congressos, fóruns e artigos científicos, principalmente a partir da Conferência de Estocolmo (primeira grande reunião de chefes de estado para tratar questões relacionadas à degradação do meio ambiente) ocorrida em 1972, no qual debateu-se sobre os efeitos nocivos promovidos pelas atividades antrópicas. O espaço geográfico encontrava-se em estado de equilíbrio até o momento em que o homem passou a explorar e modificar os recursos naturais, com objetivo de atender seus interesses e necessidades. Dentre estas modificações estão as áreas urbanas, locais de intensos impactos ambientais, como: erosão, deslizamento de terras e inundações. Assim, o presente trabalho tem como objetivo identificar áreas suscetíveis a inundações em todo o município de Cordeirópolis, o qual se localiza no estado de São Paulo. Visando atingir o objetivo do artigo, os procedimentos metodológicos foram divididos da seguinte forma: 1. Levantamento bibliográfico de dados (leituras e aquisição de dados sobre o tema); 2. Produção de mapas temáticos (aplicação das geotecnologias na elaboração de mapas em formato digital); e 3. Trabalhos de campo (conhecimento da área de estudo e verificação da qualidade dos mapas produzidos). Desta forma, com a integração de aspectos físicos e antrópicos de Cordeirópolis produziu-se um mapa de vulnerabilidade ambiental a inundações, visando determinar a fragilidade dos locais a esse fenômeno. Acredita-se que os resultados atingidos possam ser úteis na identificação e minimização de impactos ambientais em Cordeirópolis relacionados a inundações.

Palavras-chave: Inundações; Geotecnologias; Vulnerabilidade ambiental.

Abstract

Interactions between society and nature have become debates in congresses, forums and scientific articles, mainly since the Stockholm Conference (the first major meeting of heads of state to address issues related to environmental degradation) that took place in 1972, in which it debated about the harmful effects promoted by anthropic activities. Geographical space was in a state of balance until the moment when man began to explore and modify natural resources, with the aim of meeting his interests and needs. Among these modifications are urban areas, places of intense environmental

impacts, such as: erosion, landslides and floods. Thus, the present work aims to identify areas susceptible to flooding throughout the municipality of Cordeirópolis, which is located in the state of São Paulo. In order to achieve the objective of the article, the methodological procedures were divided as follows: 1. Bibliographic data collection (readings and acquisition of data on the subject); 2. Production of thematic maps (application of geotechnologies in the elaboration of maps in digital format); and 3. Field work (knowledge of the study area and verification of the quality of the maps produced). In this way, with the integration of physical and anthropic aspects of Cordeirópolis, a map of environmental vulnerability to flooding was produced, aiming to determine the fragility of the places to this phenomenon. It is believed that the achieved results can be useful in the identification and minimization of environmental impacts in Cordeirópolis related to flooding.

Key words: Floods; Geotechnologies; Environmental vulnerability

Introdução

Antigamente os ambientes naturais encontravam-se em equilíbrio até o momento em que as sociedades humanas passaram a explorar de forma exacerbada os recursos naturais visando riquezas, conforto e lazer (ROSS, 2009). Desta forma, a humanidade explora e modifica a paisagem, em escalas de tempo e espaço diferentes, de acordo com seus interesses.

As intervenções antrópicas modificam o sistema ambiental em diversos aspectos e finalidades, por meio da derrubada e queimada de vegetação, implantação de pastagens e cultivos agrícolas, da construção de vias de circulação (estradas, ferrovias, etc.), portos, aeroportos, represas artificiais, com implantação de complexos industriais e áreas urbanas, entre outras formas (FLORENZANO, 2007).

Com as ações antrópicas aumentou-se de forma progressiva o número de desastres ambientais (STEVENS, 2015), assim como o uso de informações e tecnologias para o gerenciamento desses desastres, dentre as tecnologias utilizadas destaca-se as geotecnologias. As geotecnologias são definidas por Rosa (2011) como:

Um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica. São compostas por soluções de hardware, software e peopleware que juntas constituem-se em poderosos instrumentos como suporte a tomada de decisão. Dentre as geotecnologias destaca-se: a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global, o sistema de informação geográfica, e os aplicativos gráficos disponíveis na web como o Google Earth, o Microsoft Virtual Earth, Google Street View, etc. (ROSA, 2011, p. 277).

É imprescindível incorporar essas tecnologias de ponta na resolução dos problemas ambientais. Ao longo dos anos foram surgindo novos programas analíticos, satélites e sensores, cada vez mais sofisticados e que ampliavam muito nossa capacidade de mapear os locais de estudo. A aplicação dessa tecnologia possibilitou a análise e mapeamento dos recursos naturais de uma forma adequada, e passou-se a planejar melhor o uso e ocupação das terras, expansão urbana, traçados de vias de circulação, etc. (SAUSEN; LACRUZ, 2015). Ou seja, as geotecnologias (especialmente o sensoriamento remoto), por

suas características, podem ser um grande aliado na análise, monitoramento e prevenção de desastres naturais

Entende-se por desastres naturais como “eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e ou ambientais e consequentemente prejuízos econômicos e sociais”. (CASTRO, 2009, p.2).

Dentre os desastres naturais, destaca-se, principalmente no Brasil, as inundações que são compreendidas como o resultado da concentração da água de chuva em excesso que não pode ser absorvida pelo saturado (GUIMARÃES, et al., 2009). Assim, o trabalho visa identificar as áreas de vulnerabilidade ambiental às inundações no município de Cordeirópolis, com o uso de geotecnologias, que apresentam um potencial evidente quando avaliada sua capacidade de organização, armazenamento e análise de grande volume de dados com um custo relativamente baixo.

O município de Cordeirópolis, a área de estudo, encontra-se na microrregião de Limeira, estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 22°53'S e 47°49'W e 22°41'S e 47°30'W. Em 2022, a população estimada era de 25.116 habitantes (IBGE, 2023), distribuída numa área de 137,59 km², portanto, a densidade demográfica é de 182,54hab./km².

Portanto, este trabalho objetiva encontrar as áreas de vulnerabilidade em relação as inundações no município de Cordeirópolis, para isso utilizou-se as geotecnologias, principalmente o Sensoriamento Remoto e software de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o ArcGIS.

Geotecnologia aplicado em análises de inundações

Atualmente, os desastres naturais constituem um grande problema socioeconômico do mundo, dentre estes fenômenos destaca-se as inundações, os quais são objetos de interesse de pesquisadores e de órgãos públicos, pois interferem e afetam o cotidiano dos habitantes urbanos, infraestrutura da cidade (asfalto, rede elétrica, etc.) entre outros elementos artificiais e naturais, principalmente urbano.

As inundações estão entre os fenômenos que mais causam prejuízos financeiros e mortes ao redor do mundo (GUIMARÃES et al., 2009). A inundaçao é provavelmente o mais devastador e o que abrange maior área, sendo responsável por quase 55% de todos os desastres registrados e aproximadamente 72,5% do total de perdas econômicas ao redor do mundo (SAUSEN; NARVAES, 2015).

As condições climáticas estão entre os fatores determinantes para a ocorrência desses desastres, principalmente a intensidade e duração da precipitação. Cabe ressaltar que práticas antrópicas intensificam esse fenômeno como o desmatamento e o aumento da impermeabilização do solo.

As inundações se mantêm por algum tempo, escoando gradualmente, o que é fundamental na escolha do dado de sensoriamento remoto para diagnósticos e mapeamentos. Desta forma, torna-se possível identificar os danos causados nas áreas urbanas, em áreas agrícolas e a permanência de áreas alagadas.

Para o ciclo completo do monitoramento em enchentes e inundações são utilizadas imagens (orbitais) de alta resolução espacial em conjunto com dados de radar, visando aumentar a precisão de informação (SAUSEN; NARVAES, 2015). Desta forma, os dados de sensoriamento remoto possibilitam a geração de mapas de áreas de risco, características de bacias hidrográficas, análises de eventos históricos, como também altura e direção do fluxo de drenagem.

O monitoramento com esse tipo de dados, proporciona de forma ágil e precisa uma visão geral das áreas atingidas. E assim, auxiliar os órgãos públicos no gerenciamento e tomadas de decisão, incluindo informações de avaliação de danos e medidas de proteção para futuros problemas.

Procedimentos metodológicos

Neste trabalho utilizou-se como método a análise multicritério, que consiste numa ferramenta matemática, a qual permite comparar diferentes cenários, em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha ponderada (ROY, 1996), além disso, este método encontra-se em diversos softwares de SIG: ArcGIS, QGIS, SPRING, etc. Uma característica marcante da análise multicritério é sua capacidade de tratar problemas que envolvem critérios qualitativos ou avaliações subjetivas (NEVES; PEREIRA; COSTA, 2015). Essa técnica tornou-se popular entre usuários de SIG, conforme argumenta Moura e Jankowski (2016):

A análise multicritério tem sido popular entre os usuários de SIG (Sistema de Informações Geográficas), um método integrado da análise espacial quando o objetivo é a construção de modelos descritivos ou preditivos de um território, em diferentes escalas e para diferentes aplicações. Há duas razões para esta popularidade do método: é um método simples para integrar dados segundo os objetivos de análise segundo múltiplos critérios, e a existência de ferramentas prontamente disponíveis em softwares de geoprocessamento, que podem ser utilizadas para implantar as etapas do processo de análise espacial por combinação de variáveis. A função principal da análise multicritério é facilitar a integração de variáveis espaciais, sob a forma de mapas temáticos, a fim de encontrar locais adequados para as alocações de recursos espaciais ou atividades humanas (MOURA; JANKOWSKI, 2016, p.666).

A classificação multicritério permite que a decisão do usuário seja pautada em critérios relevantes para a solução do problema. Os critérios para a escolha dos pesos e influências são definidos através de saídas de campo, revisão bibliográfica, além da experiência do usuário. Neste método (análise multicritério) utiliza-se a integração de mapas, e para isso várias técnicas são empregadas, por exemplo:

a Sobreposição Ponderada (Weighted Overlay - utilizada neste trabalho) e a Combinação Linear Ponderada (Weighted Linear Combinaton).

Na Sobreposição Ponderada os mapas recebem valores de influência, que variam de 1 a 100%, e as classes temáticas dos mapas recebem pesos de modo hierárquico, que variam de 1 a 5 (utilizado neste trabalho) ou de 1 a 10. Quanto maior a influência de um mapa ou da classe temática, maior será sua relevância no cenário final.

Dentre as aplicações utilizadas com o método da análise multicritérios destacam-se: vulnerabilidade ambiental; aptidão agrícola; escolha de áreas apropriadas para instalação de usinas hidrelétricas, loteamento urbanos ou complexos industriais, entre outros temas. Para o gerenciamento e produção do trabalho os métodos operacionais foram divididos da seguinte forma:

Levantamento bibliográfico e de dados

Nesta fase, realizou-se o levantamento bibliográfico acerca do tema abordado neste artigo, as referências foram obtidas livros, artigos, periódicos e teses (principalmente do acervo da Universidade Estadual Paulista/ UNESP), como também de sites especializados sobre a temática (especialmente de inundações, fragilidade ambiental, geotecnologias e produção de mapas).

Além disso, houve a aquisição de dados cartográficos digitais: de infraestrutura (zoneamento urbano, polo industrial, vias de circulação, etc.) e dados físicos referentes as redes de drenagem fornecidos pela Prefeitura Municipal de Cordeirópolis. Utilizou-se também Ortofotos Digitais, que recobrem todo o município, na escala de 1:25.000, fornecidas pela EMPLASA. Além disso, obteve-se o software de SIG ArcGIS, modelo 10.5

Obteve-se outros dados temáticos, como de Litologia (CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), Pedológicos (IAC – Instituto Agronômico de Campinas), Relevo (IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo), e de precipitação (SigRH – Sistema de Gerenciamento de Recursos Humanos, 2020) com o propósito de caracterizar os aspectos físicos de Cordeirópolis e na produção de mapas.

Produção dos mapas temáticos

Para a produção de mapas, tornou-se necessário o georreferenciamento de alguns dados: a base cartográfica digital do município de Cordeirópolis, fornecida pela prefeitura; as Cartas Topográficas do IGC e as Cartas Pedológicas do IAC. Para o georreferenciamento destes arquivos selecionou-se pontos de controle no sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), da grade de coordenadas

existentes nesses documentos. Cabe ressaltar, que os dados litológicos e as Ortofotos digitais foram adquiridas georreferenciadas.

Posteriormente, iniciou-se o procedimento de elaboração de mapas no ambiente do SIG, utilizando-se a interface do ArcMap do software ArcGIS 10.5. Nesse ambiente, adotou-se o sistema de coordenadas UTM usual em mapeamentos de escala grande e média (ROSA, 2011) e o Datum SIRGAS 2000, zona 23 Sul, conforme estabelecido pelo IBGE, o qual definiu esse sistema geodésico como referência no território nacional.

Na interface do ArcGIS, utilizando os recursos de edição e desenho, produziu os mapas de uso e ocupação das terras, precipitação, solos e de declividade utilizando-se as Ortofotos, dados do SigRH, IAC e IGC respectivamente.

Os procedimentos técnicos na elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental em relação a inundação, consistiu na aplicação da proposta metodológica de Ross (1994), o qual tem como princípio básico definir os diferentes níveis de vulnerabilidade dos ambientes naturais, estes modificados ou não pelas atividades humanas. Para elaboração do mapa de vulnerabilidade, tornou-se necessário reclassificar (reclassify) os mapas temáticos, após essa etapa atribuiu-se graus de vulnerabilidade às classes de cada um dos mapas.

Na elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental, utilizou-se a análise multicritério, que permite integrar mapas de variados temas (solos, declividade, uso e ocupação das terras e precipitação), posteriormente atribuiu-se qual tem a maior ou menor interferência na análise da inundação, as quais variaram de 1% a 100%, sendo que a integração de todos os mapas não ultrapasse o valor de 100%.

Na definição da influência nos mapas, considerou-se que a inundação é um desastre ambiental o qual é intensificado pelas atividades antrópicas, desta forma, o mapa de uso e ocupação possui o maior valor (35%); a declividade (relevo) é o aspecto natural com maior influência (30%), pois a velocidade ou acúmulo dos recursos hídricos é influenciado pela ondulação (ou não) da superfície terrestre; a susceptibilidade à erosão e infiltração de água está relacionado a porosidade do solo, portanto, para pedologia aplicou-se uma influência de 20%; a precipitação, em Cordeirópolis/SP, concentra-se no verão, principalmente nos meses de Dezembro e Janeiro, enquanto que nos meses de Junho e Julho ocorrem estiagem, características típicas do clima Tropical da região, assim o mapa de precipitação apresentou uma influência de 15%. Visando a utilização desses conceitos como subsídios para o planejamento ambiental, Ross (1994) estabeleceu vários graus de vulnerabilidade, da seguinte forma: Muito Fraco (1), Fraco (2), Média (3), Forte (4) e Muito Forte (5).

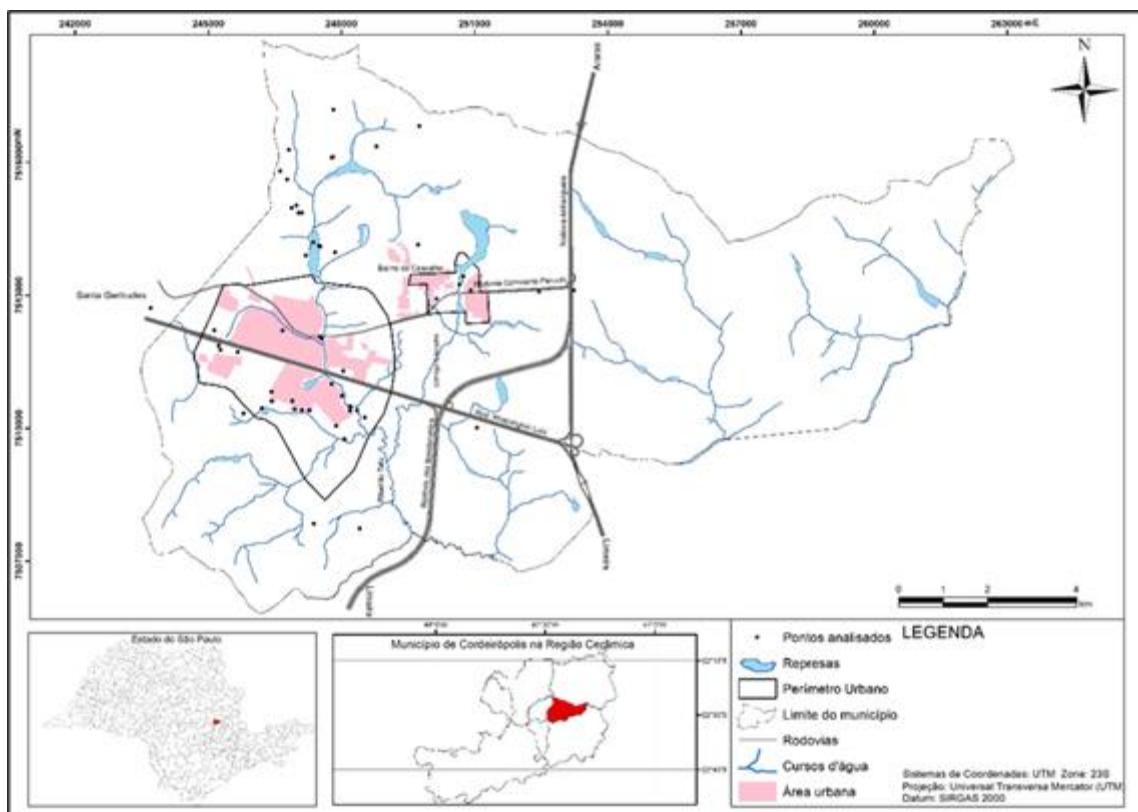
O mapeamento da vulnerabilidade ambiental é uma metodologia de investigação que tem como finalidade fornecer a análise dos componentes ambientais de forma integrada. Presume-se que a

identificação das áreas de vulnerabilidade permite uma melhor definição das diretrizes a serem implementadas

Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo são de suma importância nas análises em Geografia, pois permitem conhecer a área de estudo e também averiguar a qualidade dos mapas produzidos. Os trabalhos de campo ocorreram em diversos locais do município (Figura 1), cabe ressaltar que alguns locais foram analisados mais de uma vez, com o intuito de se atingir os propósitos do artigo.

Figura 01: Áreas visitadas nos trabalhos de campo no município de Cordeirópolis



Fonte: O autor (2022)

Os trabalhos de campo possibilitam identificar os tipos de uso e cobertura das terras contidos nos padrões da imagem e identificados em gabinete, correlacionando padrões da imagem previamente selecionados com a verdade terrestre (FERREIRA, 2011). No caso desta pesquisa, realizou-se os trabalhos de campo próximo ao perímetro urbano do município de Cordeirópolis/SP, visando caracterizar as áreas de expansão urbana, observou-se o aumento das áreas impermeáveis na cidade e a ocupação de áreas de risco (próximo às margens de córrego), além de modificações promovidas pelas indústrias cerâmicas da região.

Resultados e Discussão

Com base nos procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho, obteve-se mapas temáticos representativos dos aspectos físicos e antrópicos do município de Cordeirópolis/SP, os quais foram sobrepostos com o intuito de realizar uma análise integrada da área de estudo e identificar às áreas de vulnerabilidade ambiental às inundações. Vale salientar, que os mapas temáticos, principalmente quando são integrados conformam um sistema para responder perguntas e embasar decisões ou auxiliar na resolução de problemas (MOURA, 2014).

Aspectos dos solos do município de Cordeirópolis

No planejamento ambiental, as análises dos solos são importantes, pois as intervenções antrópicas desencadeiam modificações nas estruturas dos solos e até mesmo na retirada de camadas pedológicas, ou seja, causam impactos ambientais.

O solo pode ser compreendido como uma “coleção de corpos naturais ocorrendo na superfície da terra, contendo matéria viva e suportando ou sendo capaz de suportar plantas. Enfim, é a camada superficial da crosta terrestre” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014, p.37).

A susceptibilidade à vulnerabilidade ambiental não é a mesma em todos os solos, na medida em que as características citadas anteriormente exercem diferentes influências. Solos arenosos podem absorver grande quantidade de água, entretanto as enxurradas podem arrastar grande volume de solos, devido à pequena ligação entre suas partículas. Solos argilosos possuem espaços porosos bem menores dificultando a infiltração, mas a coesão das suas partículas é maior aumentando sua resistência (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007). O Quadro 1 apresenta a perda de solo e água por erosão.

Quadro 01: Efeito do tipo de solo nas perdas por erosão em um ano

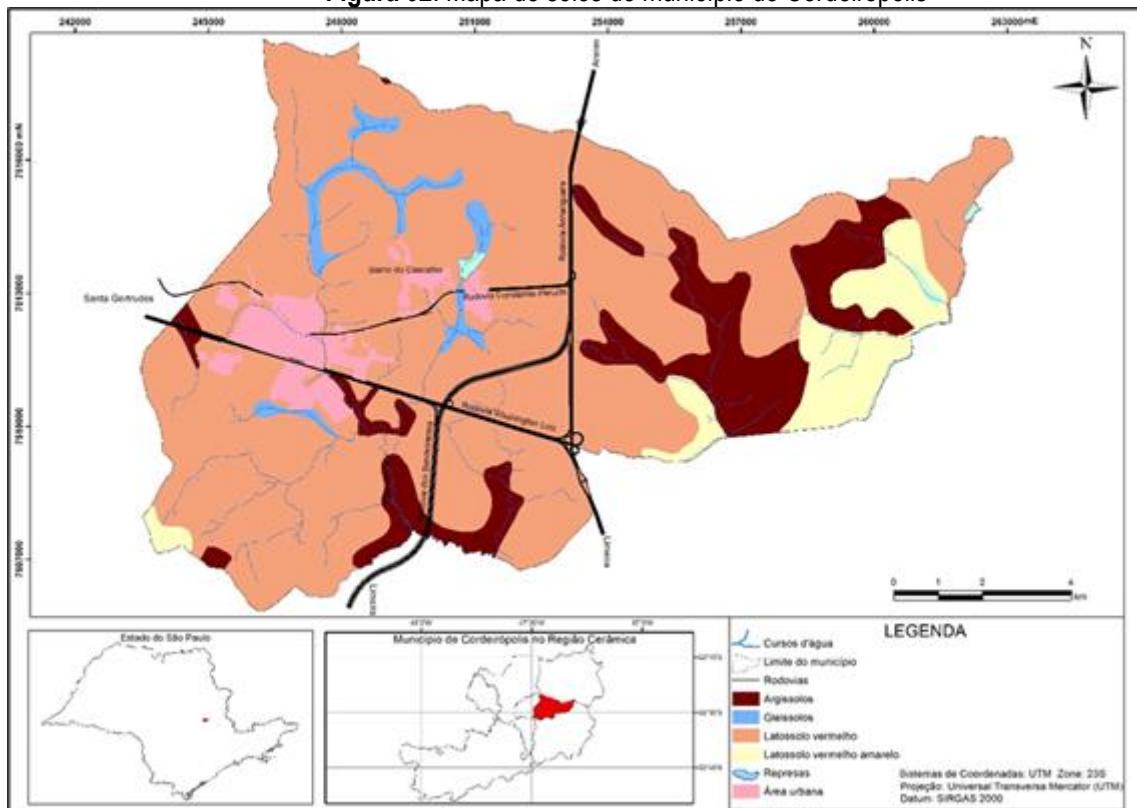
Tipo de solo	Perda de solo (t/ha)	Perda de água (%)
Arenoso	21,1	5,7%
Argiloso	16,6	9,6%

Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (2014)

Tais comparações foram elaboradas seguindo características naturais como relevo e pluviosidade idênticas, pois esses fatores são modificados com relevos íngremes ou chuvas intensas em um curto período de tempo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

Nesse contexto, o município de Cordeirópolis apresenta 4 tipos de solos: Argissolos, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho e Amarelo e os Gleissolos (Figura 2).

Figura 02: Mapa de solos do município de Cordeirópolis



Fonte: O autor (2023)

Para determinar a vulnerabilidade dos solos avaliou-se as características de permeabilidade, textura, estrutura, porosidade e maturidade do solo. O nível de vulnerabilidade ambiental e a ocupação territorial das classes pedológicas no município de Cordeirópolis encontram-se no Quadro 2.

Quadro 02: Classes de solos, vulnerabilidade e área ocupada no município de Cordeirópolis/SP

Classes	Vulnerabilidade	Extensão territorial (km ²)	Porcentagem territorial
Argissolos	4-Forte	18,1 km ²	13%
Latossolo vermelho	2-Fraca	105,2 km ²	77%
Latossolo vermelho amarelo	2-Fraca	9,56 km ²	7%
Gleissolos	5-Muito Forte	3,31 km ²	3%
Total		136,17 km ² *	100%

Fonte: O autor (2023)

*1,42km² corresponde a represas e área urbana

Os Gleissolos possuem vulnerabilidade muito forte, pois encontram-se próximo à drenagem e horizontes pouco espessos, considerado solos jovens (SIBCS, 2013). Os solos da classe Latossosolo receberam vulnerabilidade de nível fraco, já que são considerados solos bem desenvolvidos (maduro), com grande profundidade e porosidade, o que auxilia na infiltração da água. Os Argissolos apresentam vulnerabilidade forte, porque apresentam solos pouco profundos (horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte A) e são pouco estáveis, suscetível a processos de degradação ambiental.

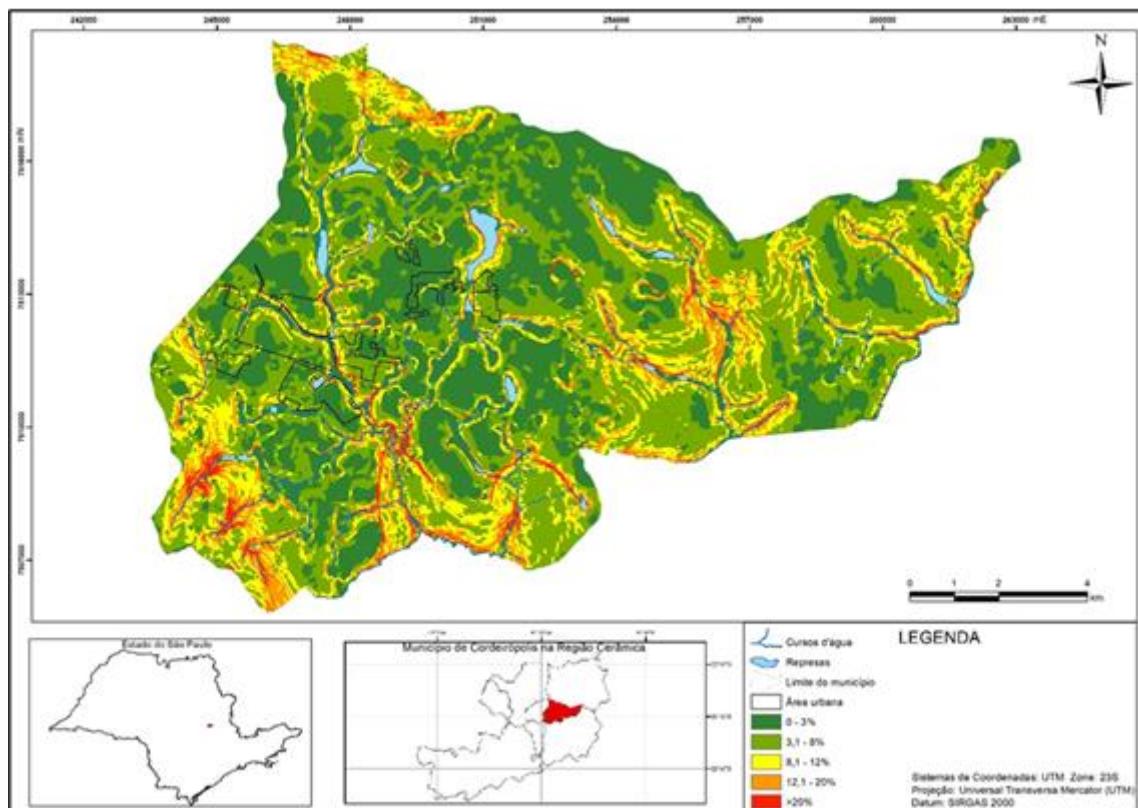
Análise da declividade em Cordeirópolis

É um dos elementos norteadores para a gestão territorial; declives muito acentuados, por exemplo, podem limitar o uso da terra a usos específicos, como pastagens ou reflorestamentos (LEPSCH, 2010).

Os fatores relacionados a declividade que mais influenciam na vulnerabilidade é o comprimento da vertente e a inclinação do terreno. A definição das classes de declividade poderá ter um caráter particular, sendo assim o autor escolhe as classes que ele necessita, mas é recomendável que utilize o que está estabelecido por lei para o uso e ocupação das terras (DE BIASI, 1977).

Desta forma, a declividade em Cordeirópolis/SP (Figura 3), foi adaptada conforme a Lei complementar nº 2.780, de 29 de dezembro de 2011 – Parcelamento do Solo e Urbanizações Especiais de Cordeirópolis, e assim forma definidas as seguintes classes: 0 – 3%; 3,1 – 8%; 8,1 – 12%; 12,1 – 20%; >20%.

Figura 03: Mapa de declividade do município de Cordeirópolis



Fonte: O autor (2023)

O município de Cordeirópolis contém um relevo plano (até 8% de declividade), formado, predominantemente, por áreas planas e suavemente onduladas (Quadro 3).

Quadro 03: Declividade, vulnerabilidades e área ocupada no município de Cordeirópolis

Declividade (%)	Vulnerabilidade	Relevo	Área Territorial (km ²)	Porcentagem Territorial
0 – 3%	1 – Muito Fraca	Plano	45,77 km ²	33%
3,1 – 8%	2 – Fraca	Suave-Ondulado	55,3 km ²	40%
8,1 – 12%	3 – Média	Ondulado	21,41 km ²	16%
12,1 – 20%	4 – Forte	Ondulado	11,99 km ²	9%
Acima de 20%	5 – Muito Forte	Fortemente Ondulado	3,12 km ²	2%
Total			137,59 km ²	100%

Fonte: O autor (2023)

De acordo com a figura 3, a área com declividade de 0 – 3% ocupa 33% (45,77km²) do município, principalmente a área central (onde se localiza a área urbana), norte, sul e oeste do município, esta classe possui vulnerabilidade muito fraca, pois apresenta um relevo plano. A região com declive de 3,1 – 8% ocupa uma extensão territorial de 55,3km², sendo a classe de maior representatividade no município, além disso, apresenta uma vulnerabilidade fraca devido ao relevo suavemente ondulado.

A declividade de 8,1 – 12% tem um relevo ondulado e assim contém uma vulnerabilidade média, essa classe ocupa uma área de 21,41km² (16%), distribuído em pequenas porções nos setores sudoeste, sul, norte e leste do município. Os locais com declividade entre 12,1 – 20%, ocupam 9% do município ou 11,99km², devido ao relevo ondulado possui uma vulnerabilidade forte. A declividade acima de 20% é a de menor ocupação territorial, (3,12km² ou 2% do município), são as vertentes da rede de drenagem do município, e apresentam a maior vulnerabilidade, muito forte.

Aspecto de pluviosidade do município de Cordeirópolis

A precipitação tem ação direta na dinâmica do sistema ambiental. De um lado a precipitação regula o excedente hídrico como um limitante ecológico para a fauna e a flora. Por outro lado, participa diretamente na evolução das formas de relevo através do intemperismo e da erosão (SPÖRL, 2007)

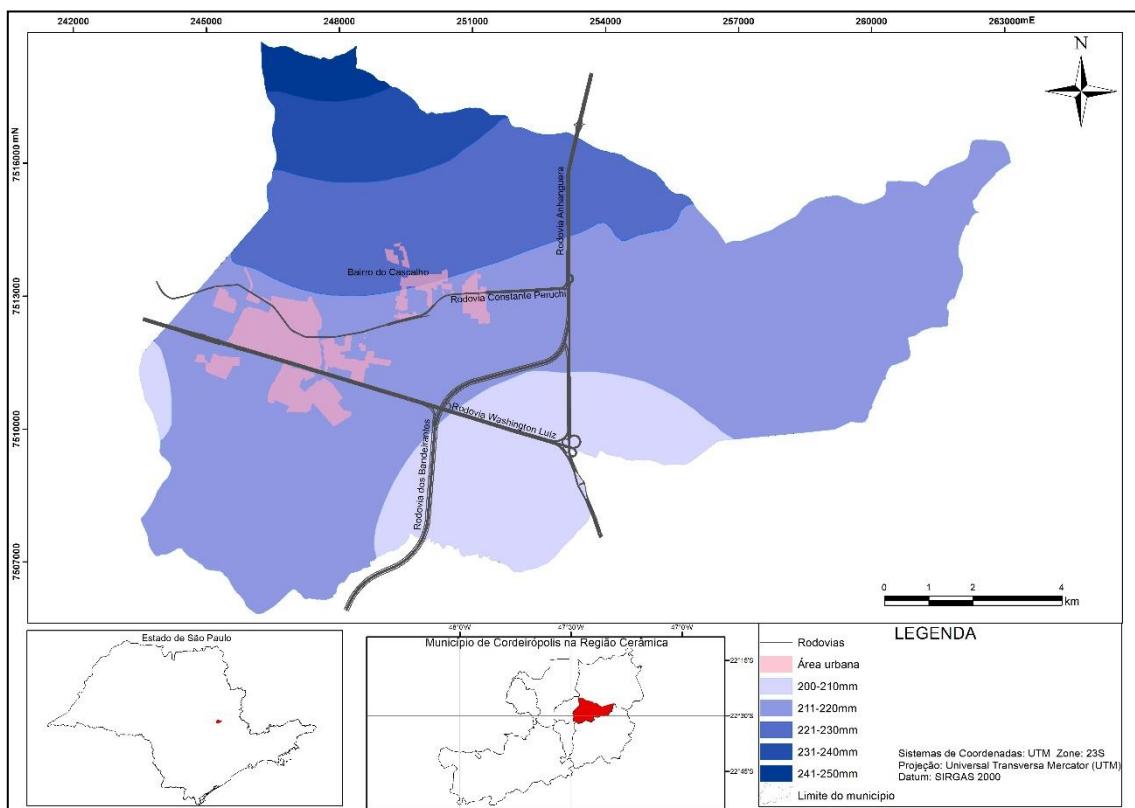
As informações relativas à pluviosidade anual e a duração do período chuvoso, que definem a intensidade pluviométrica, permitem a quantificação empírica do grau de risco a que está submetida uma região estudada (CREPANI, et al., 2001).

O clima de Cordeirópolis constitui o domínio de Tropical, no qual as chuvas se concentram entre outubro a março, e a estiagem inicia-se em abril até setembro. A dinâmica é controlada pela ZCIT, massa equatorial continental (Ec) e massa tropical marítima (Tm). É frequente a presença de linhas de instabilidade tropicais (IT), que quase sempre causam tempestades e turbulências (CONTI; FURLAN, 2019).

A variação de pluviosidade de Cordeirópolis fica entre 200-250mm (Figura 4), distribuída nas seguintes classes (INMET, 2020): 200-210mm (vulnerabilidade muito fraca); 211-220mm

(vulnerabilidade fraca); 221-230 (vulnerabilidade média); 231-240mm (vulnerabilidade forte); e 241-250mm (vulnerabilidade muito forte).

Figura 04: Mapa de pluviosidade do município de Cordeirópolis



Fonte: O autor (2022)

Cabe ressaltar, que a vulnerabilidade ambiental de precipitação se relaciona diretamente com a duração e a intensidade da pluviosidade no local. Como a duração é um dado efêmero utilizou-se a intensidade para a sua classificação. Assim, as áreas urbanas estão localizadas nas classes de vulnerabilidade fraca e média.

Na região norte do município, local de inúmeras indústrias cerâmicas e áreas de mineração encontram-se os locais com os maiores índices de vulnerabilidade: médio, forte e muito forte.

Análise do uso e ocupação das terras no município

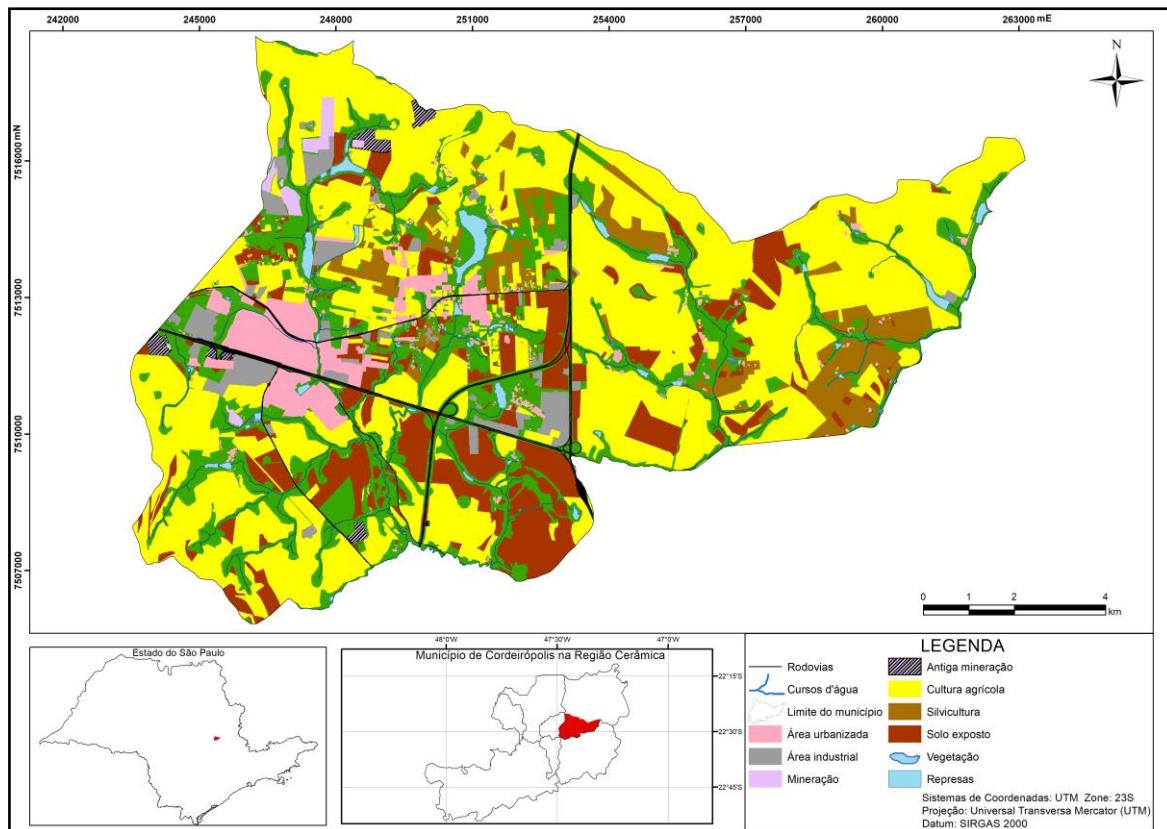
O estudo do uso da terra e ocupação do solo consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações. Tornando-se um aspecto de interesse fundamental para a compreensão da organização do espaço (ROSA, 2009).

Assim, há forças motrizes antrópicas como a agricultura, indústria e urbanização, que aumentam a pressão sobre os recursos naturais, um exemplo disso é a profunda transformação da urbanização das paisagens naturais em todo o mundo (AKBARI, NEAMATOLLAHI; NEAMATOLLAHI, 2019).

Desta forma, a utilização de imagem orbital é fundamental, pois através das imagens é possível observar as diferenças no uso e ocupação das terras, por exemplo, entre uma cidade planejada como Brasília e uma cidade que cresceu exponencialmente, sem nenhum tipo de planejamento (FLORENZANO, 2007).

Então, através da fotointerpretação de Ortofotos digitais e do mapeamento manual das classes temáticas, elaborou-se o mapa de uso e ocupação das terras do município de Cordeirópolis (Figura 5).

Figura 05: Mapa de uso e ocupação dos solos do município de Cordeirópolis



Fonte: O autor (2023)

Nota-se no mapa que com a fotointerpretação foram definidas 9 classes de uso e ocupação das terras. No Quadro 4 observa-se as classes de uso da terra no período de 2020, além da vulnerabilidade ambiental, a extensão territorial e percentagem dessas classes:

Quadro 04: Classes de uso e ocupação das terras com suas respectivas vulnerabilidades e extensão territorial – 2020

Grupos	Classes	Vulnerabilidade Ambiental	Extensão Territorial (km ²)	% Territorial
Atividade antrópica não agrícola	Área urbana	5	6,79km ²	6%
	Área industrial	5	4,4km ²	3%
	Mineração	5	0,85km ²	1%
	Antiga mineração	4	0,94km ²	1%
Atividade agrícola	Cultura agrícola	2	63,75km ²	46%
	Silvicultura	1	7,69km ²	5%
	Solo exposto	2	19,51km ²	14%
Mata	Vegetação	2	31,11km ²	22%
Água	Represas	3	2,48km ²	2%
Total			137,59 km ²	100%

Fonte: O autor (2023)

De acordo com a Figura 5, observa-se que a classe representada pela cultura agrícola, (predominantemente de cana-de-açúcar) é dominante, abrangendo mais de 63% da área do município, especialmente as porções centro-leste, norte e sudoeste.

Outra classe de destaque é o solo exposto (geralmente utilizado para o plantio de cultura agrícola), o qual abrange 14% da área de Cordeirópolis/SP e ocupa de modo expressivo a porção sul do município.

A classe de vegetação (formação arbórea e rasteira), localiza-se principalmente, próximas as Áreas de Preservação Permanente (APP) e ocupam apenas 22% do município; vale salientar, que nas APP a taxa de cobertura vegetal é de 79%.

A área urbana de Cordeirópolis/SP, ocupa 6% (5,12km²) do município, porém há planos de expansão nos setores sul e leste do perímetro urbano, conforme o Plano Diretor do município. A área industrial ocupa 3% do território e é representada principalmente por dois distritos industriais. As áreas de mineração ocupam 0,85km² ou 1% da área; as áreas de antiga mineração representam 0,97km², ou seja, também ocupam 1% da área do município. Nesses locais, devido à extração da matéria-prima formaram-se lagos, pois a retirada da argila atingiu o nível freático (Figura 6).

Figura 6: Mineração com Lago e Antiga mineração com lago



Fonte: O Autor.

Vale ressaltar, que as áreas de atividade antrópica (não agrícola) receberam o maior grau de vulnerabilidade, pois são locais que foram impermeabilizados, o que dificulta a infiltração da água e facilita o acumulo de água e maximiza o escoamento superficial.

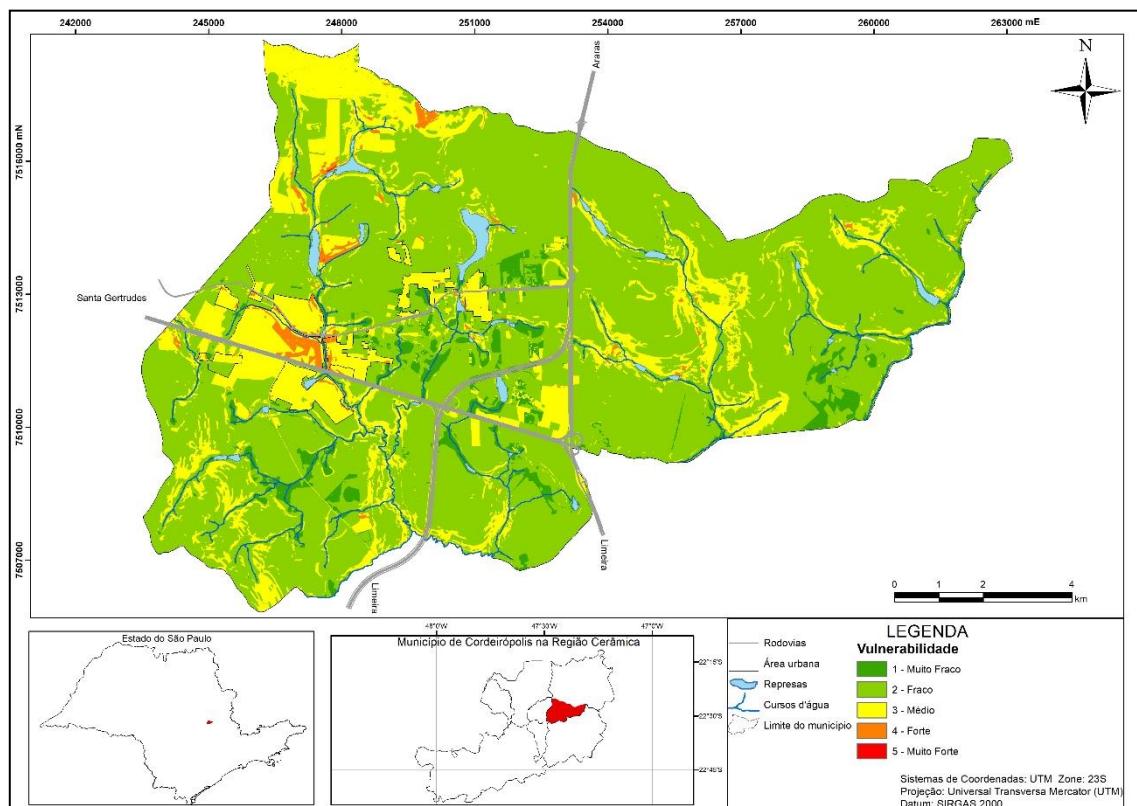
Vulnerabilidade ambiental em relação as inundações no município de Cordeirópolis

A compreensão da vulnerabilidade ambiental local permite verificar os possíveis problemas ambientais e levar à implementação de convenções internacionais, programas de ação e políticas locais, regionais e nacionais, pois utiliza ferramentas sofisticadas como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para mapear as áreas de fragilidade ambiental (TREVISAN, et al., 2020).

Os estudos sobre vulnerabilidade ambiental permitem estabelecer diretrizes de uso da terra e organização territorial do espaço para os mais diferentes objetivos e interesses. Portanto, é instrumento fundamental na organização do espaço e, para uma política de planejamento (ROSS, 2014).

Nesse sentido, o mapa de vulnerabilidade ambiental em relação as inundações (Figura 7) consistiu na integração de mapas temáticos (solos, declividade, pluviosidade e uso e ocupação das terras), representando diferentes graus de vulnerabilidade. O município de Cordeirópolis apresentou as 5 classes: 1 –Muito Fraca; 2 – Fraca; 3 – Média; 4 – Forte; 5 – Muito Forte 5.

Figura 07: Vulnerabilidade ambiental a inundações no município de Cordeirópolis



Fonte: O autor (2023)

O Quadro 5 demonstra as classes de vulnerabilidade e suas respectivas extensões no município de Cordeirópolis:

Quadro 05: Extensão territorial das classes de vulnerabilidade ambiental do Município de Cordeirópolis

Vulnerabilidade	Extensão (km ²)	%
1 – Muito Fraca	6,67km ²	5%
2 – Fraca	100,55km ²	73%
3 – Média	28,5km ²	21%
4 – Forte	1,85km ²	1%
5 – Muito Forte	0,02km ²	0,01%
Total	137,59 km²	100%

Fonte: O autor (2023)

Através da análise do mapa de vulnerabilidade e do quadro 5 observa-se que as áreas de classe muito fraca se estendem por mais de 6km² (5%) do município de Cordeirópolis, ocupando as áreas próximas aos recursos hídricos, principalmente, nas regiões sul e leste do município.

A classe de vulnerabilidade fraca é a de maior extensão territorial, com 100,55km² (73%) e se encontra em toda as regiões do município, exceto na área urbana (região central do município) e parte da região norte (local de indústrias cerâmicas e áreas de mineração em Cordeirópolis).

O grau de vulnerabilidade média abrange 28,5km² (21%), ocupa a área urbana e a região de indústrias mineradoras (norte do município), vale ressaltar, que em determinados locais da área urbana e de indústrias encontram-se áreas de vulnerabilidade forte (1,85km²), ou seja, susceptíveis a inundações.

A classe de vulnerabilidade muito forte é a de menor representatividade territorial, pois ocupa apenas 0,02km² (0,01%) do município, e ocupa pequenas parcelas da área urbana e próximo aos recursos hídricos do perímetro urbano.

Desta forma, em Cordeirópolis, verifica-se que as áreas mais susceptíveis a inundações são aquelas que apresentam impermeabilização no solo: área urbanizada, regiões industrializadas e áreas antigas de mineração. Além disso, as cheias são controladas pelo volume e distribuição das águas das chuvas, pela densidade da cobertura vegetal e pelas características (forma e declividade) do relevo.

Tais fatores, antrópicos e naturais, atuam sobre a quantidade e distribuição das águas determinando a intensidade das inundações.

Cabe salientar, que a maioria das inundações ocorrem em áreas com intensa modificação antrópica, principalmente na rede urbana. No Brasil, aproximadamente 70% dos municípios atingidos por enchentes apresentam 60% das ruas pavimentadas. E cerca de 90% do município apresentam taxa de urbanização superiora 50% (BOTELHO, 2015).

Dentre as ações que promovem a ocorrência de inundações destacam-se as seguintes: retirada de cobertura vegetal (reduz a capacidade de infiltração do solo); retificação do canal (intensificação da energia fluvial); e alta taxa de impermeabilização (aumento do escoamento superficial).

As agressões provocadas ao meio ambiente repercutem diretamente na vida dos seres vivos, tornando-se cada vez mais urgente na conjuntura atual em busca pela integração harmônica entre sociedade e a natureza. Para isto, se faz necessário um planejamento e monitoramento de todas as ações que venham atingir o meio ambiente, pois o futuro da humanidade está comprometido e algo tem que ser feito urgentemente para garantir a sobrevivência das espécies, contribuindo ao mesmo tempo para a sustentabilidade do meio ambiente (CERQUEIRA; FERREIRA; ARAÚJO, 2016).

Considerações Finais

Os procedimentos metodológicos relacionados a vulnerabilidade ambiental em conjunto com a análise multicritério foram satisfatórios, e assim possibilitou a análise e integração dos mapas temáticos atingindo os resultados esperados. Desta forma, concluiu-se que as áreas mais suscetíveis a inundações (vulnerabilidade ambiental média, forte e muito forte) estão relacionadas a intervenção antrópica, principalmente com a retirada da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo. Enquanto que as áreas de fragilidade fraca e muito fraca estão conectadas a presença de vegetação e relevo plano, fatores cruciais para que ocorra a infiltração da água no solo e diminua o escoamento superficial.

A utilização de software de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o ArcGIS, foi de suma importância nas análises espaciais, pois permitiu a sobreposição de diferentes informações (dados de hidrografia, vegetação, área urbana, rodovias, entre outras) além disso, facilitou a elaboração de diversos mapas temáticos (solos, litologia, declividade, precipitação e uso e ocupação das terras) e na organização dos arquivos em um banco de dados digital de fácil manipulação, o qual pode auxiliar no planejamento territorial.

A utilização das geotecnologias, com destaque para os produtos de sensoriamento remoto de alta resolução (Ortofotos), GPS e SIG, demonstraram a importância dessas ferramentas no planejamento ambiental, podendo contribuir para a minimização de impactos ambientais (inundações, deslizamento de terras, processos erosivos, etc.) em áreas urbanas ou rurais.

Portanto, acredita-se que o mapeamento de vulnerabilidade ambiental em relação a inundações contribui como uma ferramenta no planejamento socioambiental de um município. Pois permite a identificação de áreas que necessitam de intervenção ambiental de órgãos responsáveis, com objetivo de melhorar a qualidade do meio ambiente. Reconhecer que o entendimento dos impactos ambientais

ocasionados pelas inundações necessita de um esforço permanente e integrado, permite ampliar as possibilidades e alternativas mais eficazes para reduzir os efeitos desse fenômeno.

Referências

- AKBARI, M., NEAMATOLLAHI, E., NEAMATOLLAHI, P. *Evaluating land suitability for spatial planning in arid regions of eastern Iran using fuzzy logic and multi-criteria analysis*. Ecological Indicators, n. 98, 2019, p. 587–598.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 9^a ed. São Paulo: Ícone, 2014, p.355.
- BOTELHO, R. G. M. *Bacias Hidrográficas Urbanas*. In: GUERRA, A. J. T. *Geomorfologia Urbana*. 2^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015, p.71-115.
- CASTRO, L. A. *Manual de planejamento em defesa civil*. Brasília: Imprensa Nacional, 2009, p.69
- CERQUEIRA, J. dos S.; FERREIRA, C. M. de A.; ARAÚJO, S. M. S. de. *Recuperação de áreas degradadas*. In: ARAÚJO, S. M. S. de.; NETO, J. D. *Recuperação de áreas degradadas: conceitos, temas e casos*. Curitiba: CRV, 2016, p.17-38.
- CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. *Geoecologia: o Clima, os Solos, e a Biota*. In: ROSS, J. L. S. *Geografia do Brasil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2019, p.67-125.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. G.; BARBOSA, C. *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial*. São José dos Campos: INPE, 2001, p.103.
- DE BIASI, M. de. *A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção*. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo, nº 6, 1977, p. 45-61.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5.ed. EMBRAPA: Brasília, 2013, p.355.
- FERREIRA, C. C. *Geotecnologias aplicada a Criação e Organização de Banco de Dados Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Sucuriú - MS/BR*. 194 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2011.
- FLORENZANO, T. G. *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 101 p.
- GUIMARÃES, R. F.; JÚNIOR CARVALHO, O. A.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. *Movimentos de Massa*. In: FLORENZANO, T.G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Cidades*. Disponível em: (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/cordeiropolis/panorama>), data de acesso: 12 de janeiro de 2023.
- LEPSCH, I. F. *Formação e Conservação dos Solos*. 2^a ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010, p.178.
- MOURA, A.; C.; M. *Geoprocessamento na Gestão e Planejamento urbano*. 3^aed. Rio de Janeiro: Ed. Interciênciacia, 2014, p. 286.
- MOURA, A.; C.; M.; JANKKOWSKI. P. *Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios - “sensitivity analysis to suitability evaluation”*. Revista Brasileira de Cartografia, nº 68, 2016, p. 665-684.
- NEVES, R. B.; PEREIRA, V.; GOMES COSTA, H. *Auxílio multicritério à decisão aplicado ao planejamento e gestão na indústria de petróleo e gás*. Production v.24, nº1, 2015, p.43-53.
- ROSA, R. *Análise Espacial em Geografia*. Revista da ANPEGE. v. 7, nº 1, 2011, p.275-289.
- _____. *Introdução ao Sensoriamento Remoto*. 6^a ed. Uberlândia: EDUFU, 2009, p. 262
- ROSS, J. L. S. *Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados*. Revista do Departamento de Geografia. n. 8, 1994, p.63-74.
- _____. *Geomorfologia Ambiente e Planejamento*. 9^a ed. 1^areimpressão. São Paulo: Contexto, 2014, 89 p.

- ROY, B. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Dordrecht. Kluwer Academic, 1996, p.293
- SAUSEN, M.; LACRUZ, M. S. P. *Sensoriamento Remoto para desastres*. São Paulo: Oficina de textos, 2015, 285 p.
- SAUSEN, M.; NARVAES, I. da S. *Sensoriamento remoto para inundação e enxurrada*. In: SAUSEN, M.; LACRUZ, M. S. P. *Sensoriamento Remoto para desastres*. São Paulo: Oficina de textos, 2015, p. 119-148.
- SILVA, A. M., SCHULZ, H.E., CAMARGO, P.B. *Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas*. 2^aed. São Carlos: RIMA, 2007, 153 p.
- SPÖRL, C. *Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais*. 185 f. Tese de Doutorado (Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas) Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2007.
- STEVENS, D. *Uso de informações obtidas de satélites*. Apresentação. In: SAUSEN, M.; LACRUZ, M. S. P. *Sensoriamento Remoto para desastres*. São Paulo: Oficina de textos, 2015.
- TREVISAN, D. P.; BISPO, P. da C.; ALMEIDA, D.; IMANI, M.; BALZTER, H.; MOSCHINI, L. E. *Environmental vulnerability index: An evaluation of the water and the vegetation quality in a Brazilian Savanna and Seasonal Forest biome*. Ecological Indicators, v. 112, 2020, p.106-163.