

Carta de vulnerabilidade natural como instrumento de apoio ao Zoneamento Ecológico-Econômico do município de Pirassununga (São Paulo)

João Vitor Roque Guerrero^{1*}, Luís Fernando de Abreu Pestana², Jéssica Akemi Hitaka Soares³,
Isadora Haddad Ruiz⁴, Luiz Eduardo Moschini⁵

¹Doutor em Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, Brasil (*Autor correspondente: jvguerrero2@gmail.com)

²Doutorando em Ciência Florestal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Brasil

³Doutoranda em Ciência Florestal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Brasil

⁴Mestranda em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

⁵Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Histórico do Artigo: Submetido em: 26/03/2021 – Revisado em: 03/04/2021 – Aceito em: 08/05/2021

RESUMO

O planejamento territorial é fundamental para garantia da qualidade ambiental e dos serviços ecossistêmicos prestados pela biodiversidade. O uso do Zoneamento Ecológico-Econômico como instrumento norteador da ocupação do espaço urbano e rural permite identificar restrições de um território com a integração entre a vulnerabilidade ambiental e aspectos socioeconômicos, auxiliando a tomada de decisão de agentes públicos e privados. O objetivo deste trabalho foi elaborar uma carta de vulnerabilidade natural do município de Pirassununga-SP, avaliando a estabilidade das unidades da paisagem quanto à interação entre processos geoambientais e ações antrópicas locais. A metodologia baseou-se na sistematização de geoinformações, utilizando técnicas de geoprocessamento, como a inferência fuzzy e o processo hierárquico analítico. Os resultados indicaram, majoritariamente, que a área do município foi classificada como instável (51%) em regiões ocupadas predominantemente por atividades agrícolas. Áreas estáveis (12%) foram verificadas a nordeste do município, região ocupada por agricultura e densa presença de Áreas de Preservação Permanente. O perímetro urbano encontra-se sob área intermediária, porém apresenta avanço da malha urbana em regiões instáveis. Os resultados servem de apoio estratégico para ações do poder público que visem assegurar a qualidade ambiental do município, principalmente em relação ao avanço da malha urbana e controle das atividades agrícolas.

Palavras-Chaves: Gestão urbana e rural, Planejamento ambiental, SIG, Vulnerabilidade, Zoneamento.

Natural vulnerability chart as an instrument to support Ecological-Economic Zoning in the municipality of Pirassununga (São Paulo – Brazil)

ABSTRACT

Territorial planning is essential to guarantee environmental quality and ecosystem services. The use of Ecological-Economic Zoning as a guiding instrument for the occupation of urban and rural space allows the identification of restrictions of a territory with the integration between environmental vulnerability and socioeconomic aspects, helping the decision-making of public and private agents. The objective of this work was to elaborate a natural vulnerability chart in Pirassununga-SP, evaluating the stability of the landscape regarding the interaction between geoenvironmental processes and anthropic actions. The methodology was based on the systematization of geoinformation, using geoprocessing techniques, such as fuzzy inference and the hierarchical analytical process. The results mainly indicated that the area of the municipality was classified as unstable (51%) in regions occupied by agricultural activities. Stable areas (12%) were verified in the northeast of the municipality, a region occupied by agriculture and a dense presence of protected areas. The urban perimeter is located in an intermediate area, but the urban net is advancing in unstable regions. The results serve as support for actions by the government that aim to ensure the environmental quality of the municipality, mainly in relation to the advancement of the urban net and control of agriculture.

Keywords: Environmental planning, GIS, Urban and rural management, Vulnerability, Zoning.

Guerrero, J. V. R.; Pestana, L. F. A.; Soares, J. A. H.; Ruiz, I. H.; Moschini, L. E. (2021). Carta de vulnerabilidade natural como instrumento de apoio ao zoneamento ecológico-econômico do município de Pirassununga (São Paulo). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.2, n.2, p.25-42.



1. Introdução

Atividades antrópicas de conversão e utilização de áreas naturais, como a urbanização e agropecuária, são alguns dos principais processos de degradação do meio ambiente nos últimos séculos (Cunha et al., 2008; Seto et al., 2012; Haddad et al., 2015). Consequentemente, severos impactos se instalam sobre o compartimento biótico, como a fragmentação dos habitats da paisagem (Haddad et al., 2015) e a perda de biodiversidade (Pereira et al., 2010; Newbold et al., 2015) e também sobre o compartimento abiótico do meio ambiente, com impactos no solo, como a erosão (Islam & Weil, 2000; Cunha et al., 2008), no ar, como a poluição por materiais particulados tóxicos (Illi et al., 2017) e na água, como a eutrofização (Taniwaki et al., 2013).

Estes impactos afetam diretamente a sustentabilidade dos ecossistemas, bem como os serviços ecossistêmicos benéficos ao homem, como os serviços de suporte e regulação, relacionados à conservação, dinâmica e qualidade da água, do ar e do solo; os serviços culturais, relacionados ao lazer e turismo e os serviços de provisão, relacionados aos suprimentos, como madeira e alimentos, fornecidos pelo ecossistema (ONU, 2005; Parron & Garcia, 2015).

O Brasil é um exemplo de país que enfrentou uma intensa alteração do uso do solo, ilustrada principalmente pela conversão da vegetação natural em pastos, campos agricultáveis e ambientes urbanos. Assim, o crescimento econômico, bem como o aumento demográfico estão correlacionados positivamente com o aumento dos impactos nos recursos naturais em várias regiões do país (Gorayeb et al., 2005; Soares et al., 2006; Barreto et al., 2012; Reis et al., 2020).

A rápida alteração do uso do solo pela qual o país passou, consequentemente, gerou a ocupação desordenada de grande parte do seu território (Henrique et al., 2017). E isso ocorreu principalmente quando, a partir da década de 70, o desenvolvimento da agroindústria intensifica o êxodo rural para os centros urbanos (Silva & Werle, 2007; Santoro et al., 2017). Ademais, a ocupação desordenada foi potencializada em virtude da ausência histórica de critérios, ferramentas e instrumentos legais de planejamento aplicáveis a gestão urbana e rural do território.

Entretanto, nas décadas recentes, a preocupação pela otimização do território, bem como pelo seu uso e ocupação de forma sustentável começa a emergir e ganhar sustentação a nível nacional, regional e local. A exemplo disso, podemos citar o Zoneamento Ecológico Econômico - ZEE, primariamente conhecido por Zoneamento Ambiental (Becker & Egler, 1996). O ZEE, instrumento de ordenação do território contido na Política Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 1981), foi regulamentado a partir do Decreto Nº 4.297/2002 (Brasil, 2002) e tem sido utilizado em diversas escalas do território, propiciando uma conexão entre seus produtos gerados e as políticas públicas que efetivam o planejamento ambiental territorial (MMA, 2020).

O principal objetivo deste instrumento é orientar as decisões de agentes públicos e privados quanto ao uso do território no que tange às ações, planos, programas ou quaisquer atividades que utilizem os recursos naturais, assegurando a conservação e o funcionamento dos ecossistemas, bem como os seus serviços ambientais benéficos, compatibilizando com o bem-estar social e com o desenvolvimento econômico (Brasil, 2002).

Dentro da elaboração de um ZEE, nos moldes propostos pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA, é necessária a produção de duas cartas temáticas, denominadas por carta de potencialidade social e carta de vulnerabilidade natural, sendo a última o produto que visa este estudo. Em suma, este produto tem a finalidade de avaliar integralmente a estabilidade das unidades da paisagem quanto à composição do solo, rocha, relevo, vegetação e pluviosidade (Becker & Egler, 1996).

Dado este contexto inicial, este trabalho tem como objetivo realizar uma carta de vulnerabilidade natural de Pirassununga (São Paulo – SP), para sua utilização como um instrumento de apoio ao ZEE do município.

Pirassununga, localizada no centro-leste do estado de São Paulo, é um município que tem recebido investimentos públicos e privados, refletindo no desenvolvimento dos setores de educação do ensino superior, expansão das usinas de álcool e açúcar, ampliação da construção civil e construção de novos distritos

industriais (Pirassununga, 2020). Além disso, o município conta com apenas 15% do território ocupado por vegetação natural (IF, 2020). Consideramos estas características, portanto, como as justificativas para a aplicação de instrumentos de planejamento territorial sustentável nesta área de estudo.

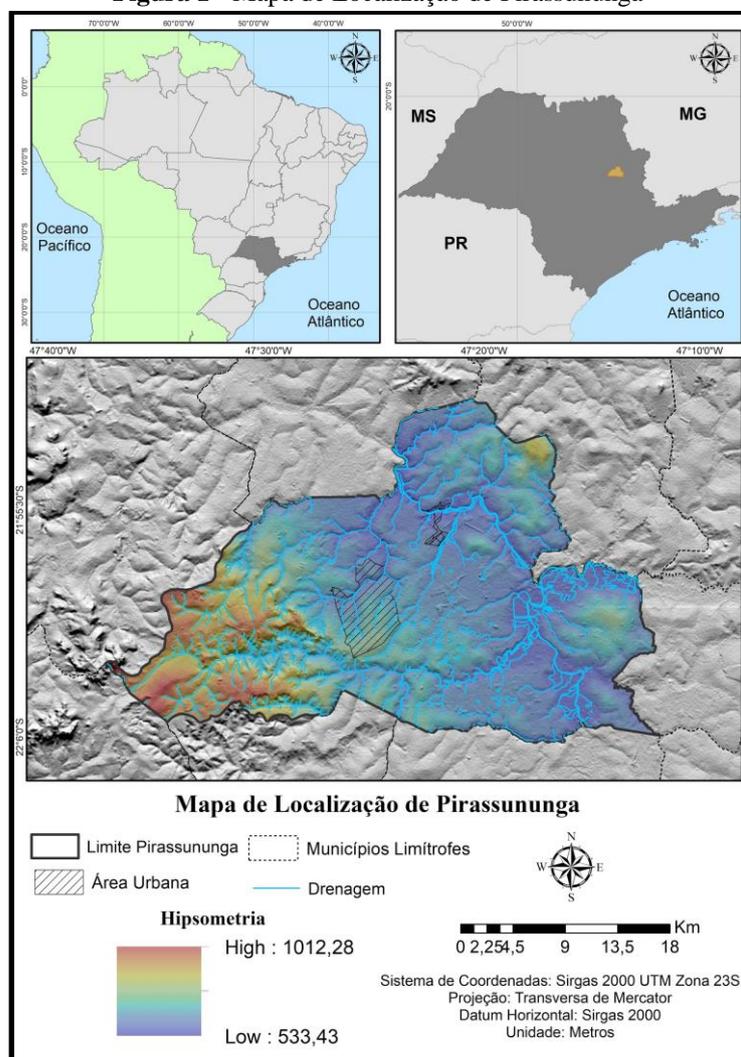
A partir do contexto acima citado é esperado que os resultados obtidos neste trabalho contribuam de forma técnica para o planejamento territorial sustentável no município de Pirassununga.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O município de Pirassununga está localizado na região centro-oeste do Estado de São Paulo, segundo as coordenadas 47°10'00" W e 22°6'0" S, e a uma distância de 212 quilômetros da capital paulista (Figura 1). Abrangendo uma área de aproximadamente 727.118 km² e a uma altitude média de 627 metros acima do nível do mar, o município possui 73.706 habitantes e uma densidade média de 101,37 hab/km² (SEADE, 2020).

Figura 1 - Mapa de Localização de Pirassununga



Considerada como uma das mais produtivas da região do Estado de São Paulo (Lossardo & Lorandi, 2014), Pirassununga possui uma economia embasada no comércio, nas atividades industriais, de prestação de serviços e na agropecuária, com destaque para o cultivo da cana de açúcar e do milho (Lossardo & Lorandi, 2014; IBGE, 2017). Conjuntamente estas atividades garantem um Produto Interno Bruto (PIB) per capita de 35.846,26 mil reais e um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,80 segundo o último censo de 2010 (IBGE, 2017; SEADE, 2020). Seu nível de urbanização atinge quase 94% (SEADE, 2020).

Cerca de 15% do território de Pirassununga é ocupado por vegetação nativa (IF, 2020), dividido entre as fisionomias de cerrado (como o cerradão), da Mata Atlântica e áreas de capoeiras e várzeas (Silva et al., 2019). Contudo, a expansão agrícola é uma ameaça potencial para a supressão destas áreas naturais (Silva, et al. 2019). Segundo a classificação de Koppen, o clima é do tipo CWA (clima tropical de altitude), caracterizado por verões chuvosos e um inverno seco, de modo que nos meses mais quentes, como janeiro e fevereiro a temperatura excede a 22° e a do mês mais frio, julho, é inferior a 18° (Bufon et al., 2012).

Geologicamente, Pirassununga está situado na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo composta pelas seguintes formações: Aquidauana (Grupo Tubarão), constituída por siltitos, arenitos, argilitos e varvitos; Corumbataí (Passa Dois), formada argilitos, siltitos e folhelhos intercalados com arenitos e leitos carbonáticos; Pirambóia (São Bento), composta por arenitos de grão esféricos e arredondados; Serra Geral (São Bento), de origem vulcânica com derrames de basalto, além de intrusões de diques e soleiras de diabásio; e finalmente por depósitos Aluvionares e Colúvio-Aluvionares (IG, 2014; Machado et al. 2005, Perinotto et al., 2008; Zaine, 2000). Já em relação a caracterização do solo, são encontrados no município grandes áreas de terra roxa estruturada, inclusive sobre a malha urbana (Bufon et al. 2012).

Tratando-se sobre sua hidrogeologia aflorante, Pirassununga está sob os seguintes aquíferos: o Guarani (granular), Serra Geral Intrusiva (confinado/fissural), Tubarão (granular) e o Aquíclode Passa Dois (granular) (Silva et al., 2019).

O aquífero Guarani é composto pelas formações Pirambóia e Botucatu (Boico et al., 2018) e devido sua alta porosidade possui uma elevada capacidade de armazenar água doce (Silva et al., 2019; Wendland & Rabelo, 2010). O Serra Geral é um aquífero fraturado formado por rochas basálticas que em função de sua constituição, não possui condições necessárias de permeabilidade e de porosidade para o armazenamento de elevado volume de água (Rosa Filho et al. 2006; Iritani & Ezaki, 2009; Iwashita et al., 2018). Diferentemente do aquífero Serra Geral, o Tubarão é de origem sedimentar (siltitos, folhelhos, arenitos, entre outros) e possui porções com comportamento de aquífero livre e confinado. O Aquíclode Passa Dois é uma unidade sedimentar constituída por sedimentos depositados em ambiente marinho, podendo assim ser encontrados siltitos, argilitos calcários, folhelhos entre outros (Iritani & Ezaki, 2009).

2.2 Material

Como a produção da Carta de Vulnerabilidade Natural do município de Pirassununga baseia-se na utilização de geotecnologias, foi necessário obter dados geoespaciais para a inserção no modelo final. Todos os dados obtidos foram disponibilizados gratuitamente por seus detentores de direitos e são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Bases de dados geoespaciais utilizadas na produção da carta de vulnerabilidade do município de Pirassununga-SP.

Dado	Fonte	Ano
Mapa Geológico	Instituto Geológico - SP	2014

DEM ASTER folhas S23W048 e S22W048	NASA Earth data	2018
Formas de Relevo	Projeto TopoData	2010
Dados Pluviométricos	Projeto CHIRPS	2019
Dados de Uso do Solo	Projeto MapBiomias	2019

2.3 Métodos

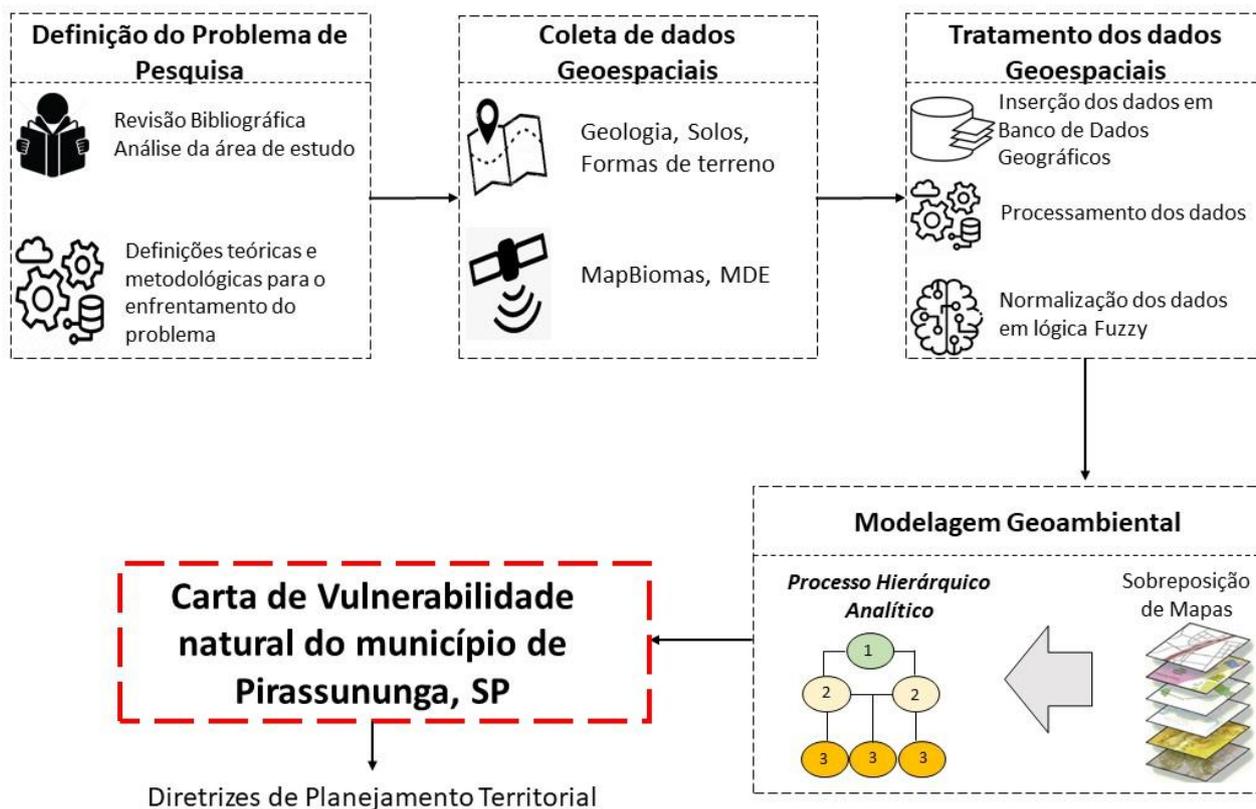
No ano de 1996, os dados cartográficos digitais e os Sistemas de Informações Geográficas ainda estavam em estágio inicial e havia grande dificuldade nas aplicações em geotecnologias devido às limitações em software e hardware dos computadores. Foi nesse contexto tecnológico que foram propostas as bases do zoneamento ambiental brasileiro, contando ainda com severas dificuldades na disponibilidade de dados confiáveis sobre as regiões brasileiras. Entretanto, apesar das discrepâncias tecnológicas, as proposições teórica-metodológicas eram evidentemente avançadas para seu tempo.

O contexto dos dias atuais remete a uma maior disponibilidade de dados cartográficos, dados com escalas com maiores detalhes e facilidade de obtenção de hardware e software que permitem uma maior complexibilidade das análises e conseqüentemente maior fidelidade da cartografia geoambiental quanto à realidade dos territórios.

A partir da contextualização acima citada, optou-se, para este trabalho, a utilização de uma adaptação do método de Becker e Egler (1996) para a produção de uma carta de vulnerabilidade natural que dê suporte ao Zoneamento Ecológico-Econômico do município de Pirassununga, SP. O estabelecimento da vulnerabilidade natural consiste na análise integrada dos elementos do meio físico (geologia, pluviosidade, uso do solo, declividades e forma do terreno) e à capacidade de manutenção de sua estabilidade ecodinâmica frente aos diferentes usos antrópicos do território, gerando zonas com diferentes vulnerabilidades que necessitam de diferentes ações de planejamento estratégico.

Nesta sistematização metodológica, entende-se que a vulnerabilidade natural do território se expressa por meio das diferentes classes de estabilidade das unidades ecodinâmicas diagnosticadas, denominadas estáveis (onde predomina o processo de pedogênese), Intermediárias (onde há um equilíbrio dinâmico entre a Pedogênese e a Morfogênese) e instáveis (onde o processo mais acentuado é o da morfogênese). Para tal, foram utilizadas técnicas de cartografia geoambiental e inferência geográfica, que são ilustradas e descritas na Figura 2:

Figura 2 - Esquema metodológico para elaboração da carta de vulnerabilidade do município de Pirassununga-SP.



2.3.1 Definição do problema de pesquisa, aquisição e pré-processamento dos dados

Após a definição de que a necessidade de produção de uma carta de vulnerabilidade natural para apoiar o zoneamento ecológico-econômico do município de Pirassununga como problema de pesquisa, e quais seriam os métodos aplicados para enfrentar o problema, deu-se início a fase de coleta e tratamento dos dados geoespaciais.

Foram utilizados dados gratuitamente disponibilizados que foram pré-processados para que atendessem às necessidades técnicas do modelo implementado. Os mapas brutos de geologia, pluviosidade, formas de terreno e uso do solo foram recortados nos limites da área de estudo. Já o Modelo Digital de Elevação foi pré-processado, produzindo assim a carta de declividades em porcentagem do município de Pirassununga.

Por fim, os dados foram reprojatados para a Projeção Universal Transversa de Mercator, Datum SIRGAS 2000 para promover a compatibilização cartográfica e inseridos em um banco de dados geográficos no software ArcGis 10.6.

2.3.2 Atribuição de pesos de vulnerabilidade

O modelo original para a produção da Carta de Vulnerabilidade Ambiental exige que sejam atribuídos valores para os atributos de cada um dos parâmetros, de acordo com a vulnerabilidade / estabilidade que promovem ao sistema. Os valores mais altos (3) representam a maior vulnerabilidade (e conseqüente maior

instabilidade ecodinâmica), enquanto os valores mais baixos representam as menores vulnerabilidades (maior estabilidade ecodinâmica).

Para os atributos da Geologia, os valores atribuídos estão relacionados à quão resistente à erosão é o tipo de rocha analisado, onde maiores valores foram atribuídos às formações com maior quantidade de areia, com grãos mais desagregados. Já os menores valores, foram para estruturas geológicas mais resistentes, tais como as derivadas de basalto.

Quanto às declividades e pluviosidade, os valores foram atribuídos de acordo com o proposto por Ross (1994; 2012; 2019) onde maiores declividades representam maiores fluxos superficiais de matéria e energia, aportando menor resistência ao sistema. Já para as chuvas, a análise levou em consideração que a chuvas anuais regularmente distribuídas tanto no espaço quanto no tempo representam baixa vulnerabilidade local.

As formas de terreno foram valoradas de acordo com Silva Neto (2013), onde quanto mais convergente a forma, maior a concentração de fluxo de escoamento superficial, enquanto nas formas mais divergentes predomina a dispersão do fluxo de escoamento.

Por fim, os usos foram classificados quanto à influência que cada um tem em desestabilizar a ecodinâmica do sistema, ou seja, quanto mais natural for o uso (cerrado, mata, campos), menores os valores atribuídos. Por outro lado, quanto mais impactantes forem os usos (Urbano, Solo Exposto) maiores os valores. A Tabela 2 demonstra os parâmetros utilizados e os valores atribuídos a seus atributos.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados e valores atribuídos para definição da estabilidade ecodinâmica do município de Pirassununga-SP.

Parâmetros	Classes de Vulnerabilidade / Estabilidade Ecodinâmica		
	Estável (Valor 1)	Intermediária (Valor 2)	Instável (Valor 3)
Geologia	Formação Serra Geral;	Formação Corumbataí	Formação Aquidauana; Depósitos Colúvio-Eluvionares, Depósitos Aluvionares
Formas de Relevô	Divergente-Côncavo; Divergente-Retilíneo; Divergente-Convexo	Côncavo-Planar; Retilíneo-Planar; Convexo-Planar	Convergente-Côncavo; Convergente-Retilínea; Convergente-Convexa
Pluviosidade	Distribuição regular de chuvas com até 2000 mm anuais	-	-
Uso do Solo	Florestas; Água; Cerrado; Campos	Silvicultura, Pastagens	Solo Exposto; Urbano; Mineração; Agricultura.
Declividade	0 a 6 %	6 a 30 %	> 30 %

2.3.3 Normalização dos dados e a Inferência Fuzzy

Os dados geográficos de uma paisagem geralmente não apresentam limites rígidos entre si, mostrando certo grau de incerteza principalmente nas transições entre classes. Deste modo, Kainz (2007) propõe que os dados espaciais que os representa cartograficamente não podem ser expressados por meio de conjuntos binários, que consideram apenas as transições binárias entre sim ou não entre as classes de estudo.

Assim, emerge academicamente a introdução dos conjuntos Fuzzy para lidar com conceitos inexatos na representação cartográfica de elementos espaciais (Zadeh, 1965). Pode-se definir o conjunto Fuzzy como um método de caracterização de classes geolocalizadas que é capaz de representar a indefinição de fronteiras entre seus atributos de análise (Moreira et al., 2001).

A operacionalização da inferência Fuzzy para este trabalho ocorreu na normalização dos parâmetros de análise do modelo (geologia, relevo, pluviosidade, uso e declividade) em conjuntos nebulosos, por meio da utilização da ferramenta Fuzzy Membership no ArcGis 10.6. Essa função converte os valores de vulnerabilidade (1 a 3) de cada parâmetro para valores entre 0 e 1, utilizando o algoritmo “Linear”, que calcula os valores finais a partir da transformação linear do raster de entrada.

Por fim, foram gerados 5 mapas em conjuntos fuzzy que serviram como entrada no modelo de sobreposição de mapas.

2.3.4 Sobreposição de mapas e produção da Carta de Vulnerabilidade Natural

O último procedimento é a aplicação de técnicas de sobreposição de camadas geográficas, uma das principais funções de análise espacial para auxílio de tomada de decisão. Este procedimento consistiu em utilizar os layers fuzzy normalizados como camadas de entrada para a aplicação da técnica AHP.

O Processo Hierárquico Analítico (AHP) é uma técnica de escolha baseada na lógica de combinação pareada que auxilia na determinação da contribuição relativa de cada parâmetro utilizado no modelo (Moreira et al., 2001). Desta forma, é possível mensurar o grau de importância de cada parâmetro ao modelo, incentivando uma representação mais fiel à realidade da paisagem e conseqüentemente do fenômeno estudado.

Além da experiência dos autores, foram consultados especialistas nas áreas de geologia, biologia, gestão ambiental e geografia para a atribuição da importância relativa dos parâmetros e construção da matriz de preferências que melhor contribuíssem à modelagem da vulnerabilidade ambiental como apoio ao zoneamento ecológico-econômico do município de Pirassununga.

O método AHP é aplicado por meio da multiplicação dos raster fuzzy pelo valor de importância relativa, tal como mostra a equação 1:

$$AHP = PARÂMETRO (N) \times (\% IMPORTÂNCIA RELATIVA/100) \quad (1)$$

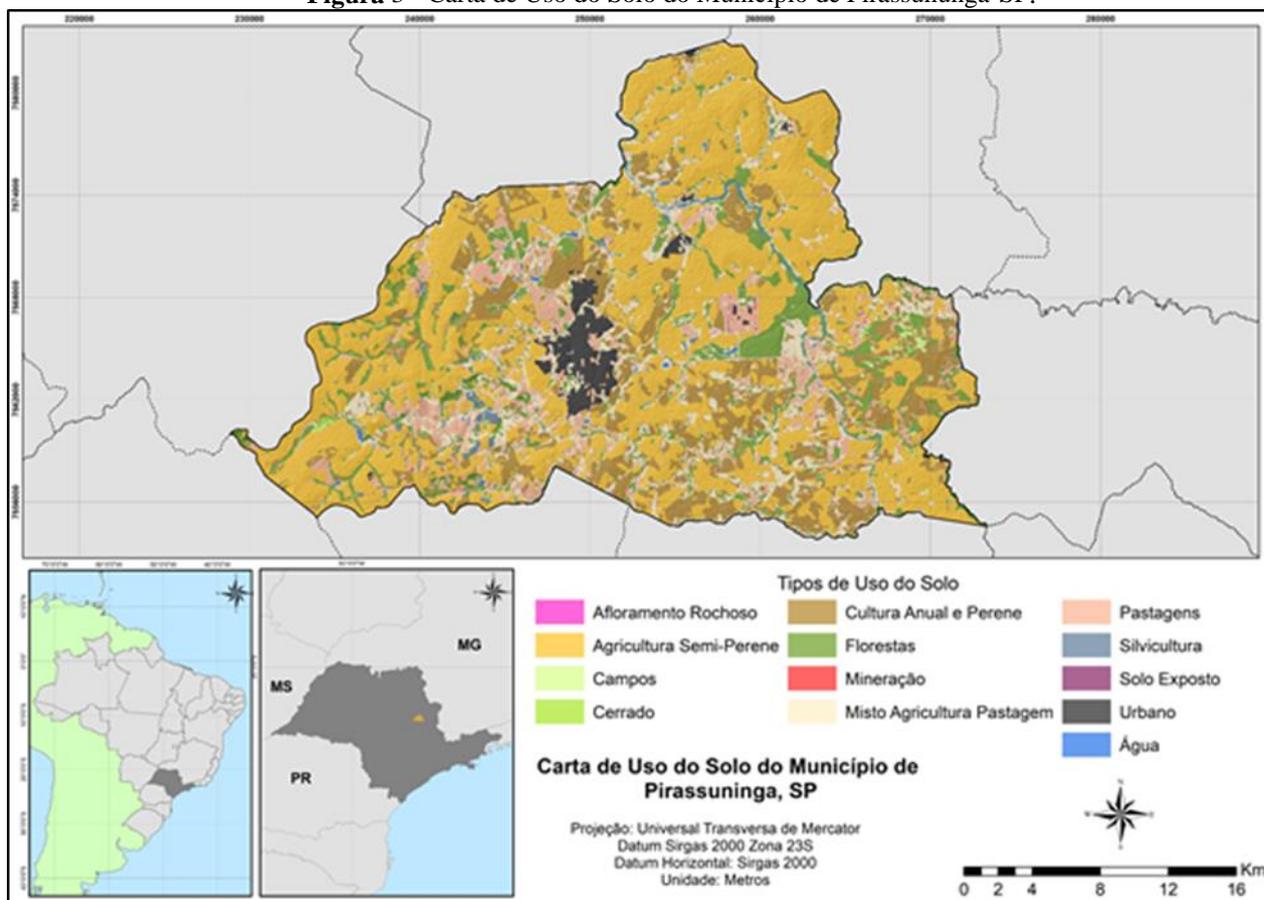
3. Resultados e Discussão

3.1 Padrão de ocupação territorial de Pirassununga

Analisar os padrões de ocupação antrópica com auxílio da carta de uso do solo é determinante para o estudo da vulnerabilidade natural, tendo em vista que determinados tipos de uso, como a agricultura e a urbanização, apresentam relação intrínseca com muitos fenômenos que podem desestabilizar o equilíbrio das paisagens, tais como a erosão (Trevisan et al., 2018; Lollo et al., 2019).

A carta de uso do solo do município de Pirassununga (Figura 3) indicou que a principal força motriz da economia local são os cultivos agrícolas, com especial destaque para a cana-de-açúcar que ocupa aproximadamente 46 % do território local. Essa elevada ocupação está de acordo com dados do IBGE (2017), que indicam um crescimento da quantidade de cana de açúcar produzida saltando de 681.912 toneladas no ano de 2007 para quase 2.280 milhões de toneladas em 2017.

Figura 3 - Carta de Uso do Solo do Município de Pirassununga-SP.



O desenvolvimento do setor sucroalcooleiro no município acompanha a tendência do estado de São Paulo, onde há um direcionamento para a produção de açúcar e etanol (Manzatto et al., 2009), entretanto, Pirassununga ainda tem maior participação da Cana em seu PIB devido à produção em grande escala de aguardentes, assim como informa Gibin (2014).

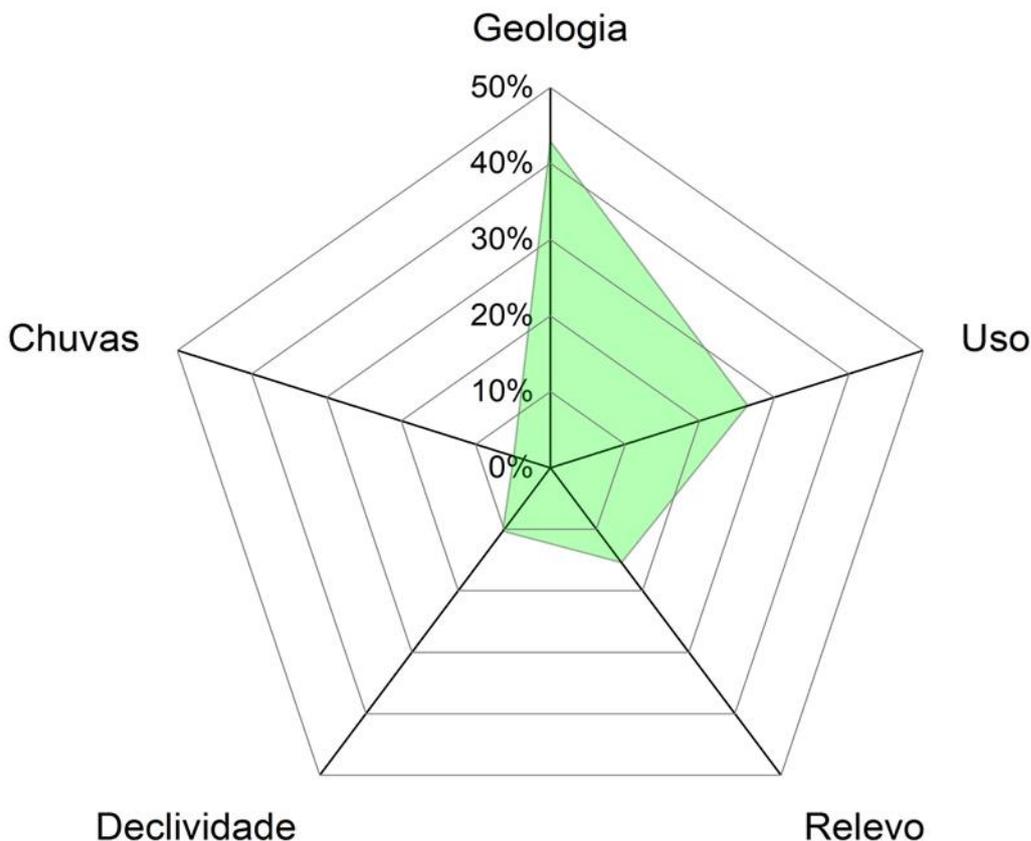
Nota-se, também, que os usos considerados como naturais e que auxiliam na manutenção da estabilidade ambiental local), tais como florestas, campos e cerrado, atualmente ocupam menos de 13 % da área, indicando alto nível de antropização do município, além da possibilidade dos corpos hídricos de Pirassununga estarem mais vulneráveis devido à ausência de uma vegetação de proteção adequada. Tal resultado é próximo com o estudo de Silva et al. (2019) onde sugeriram que tal padrão de ocupação também acarreta vulnerabilidade aos aquíferos locais.

3.2 O processo AHP e Carta de Vulnerabilidade Natural do município de Pirassununga, SP

A construção da matriz de preferências indicou ao modelo geoambiental a preferência relativa dos parâmetros normalizados por inferência fuzzy. Assim, como resultado, foram aplicados aos parâmetros os valores ilustrados na Figura 4. Como nota-se, o maior valor de importância relativa foi atribuído à Geologia (42,9%), indicando que este fator tem grande influência, principalmente pelo motivo de que as classes do mapa

geológico indicam a resistência das rochas locais ao processo de erosão, sua natureza litológica, estrutura e histórico de evolução do ambiente (Becker & Egler, 1996).

Figura 4 - Importância relativa, em porcentagem, de cada parâmetro utilizado para realização da carta de vulnerabilidade do município de Pirassununga-SP, pelo método AHP.



Já o uso, que recebeu importância de 26,45 %, foi considerado o segundo parâmetro de maior importância graças ao grau de proteção que pode oferecer ao solo e também ao potencial degradador que as atividades antrópicas têm sobre o terreno.

Os parâmetros relacionados à dados topográficos, notadamente formas de relevo (15,4 %) e declividades (10,3 %), foram avaliados com valores intermediários e auxiliam a avaliação do comportamento das encostas, principalmente com a velocidade do fluxo de matéria e energia, bem como sua forma de difusão ao longo da encosta.

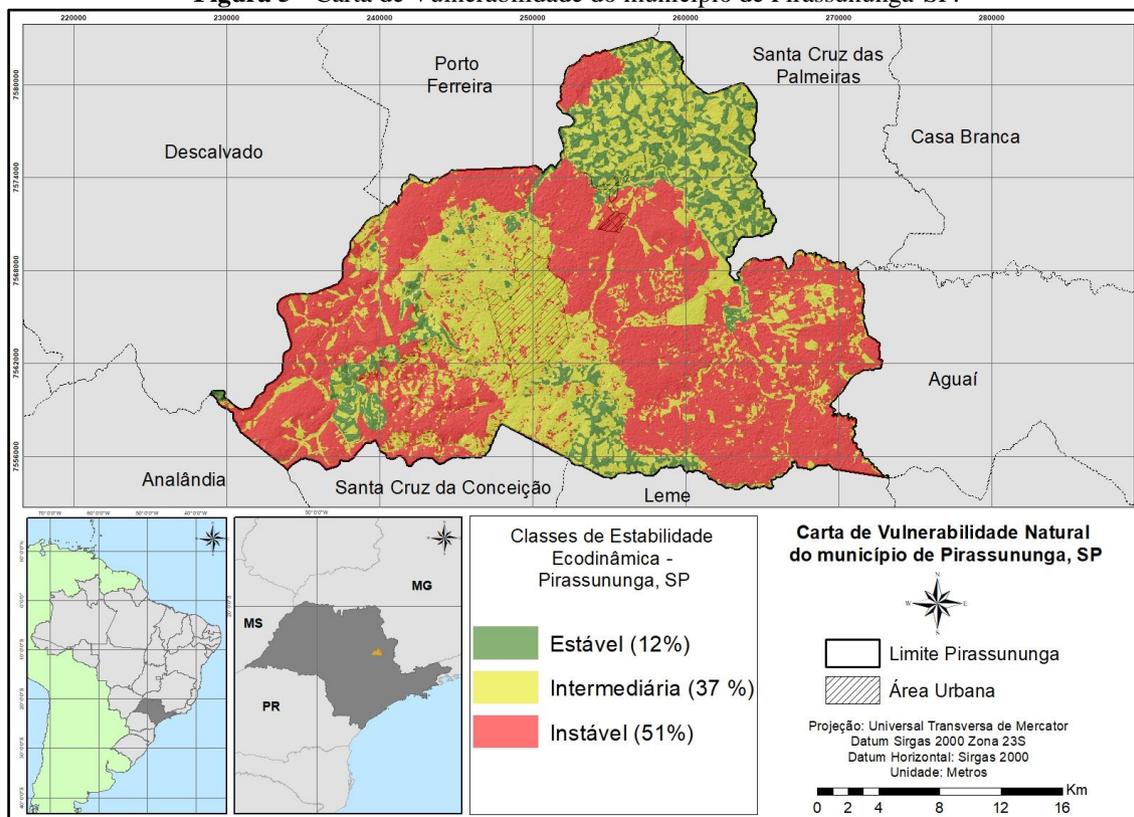
O parâmetro que, para este modelo, recebeu o menor valor de importância relativa foi a pluviosidade, principalmente devido ao seu caráter regular e de relativa baixa intensidade ao longo do ano.

3.3 Análise da carta de Vulnerabilidade Natural do município de Pirassununga

Nos moldes metodológicos propostos por Becker e Egler (1996), a carta de vulnerabilidade natural do município de Pirassununga, SP (Figura 5) foi expressa por meio de classes de estabilidade ecodinâmica que,

por sua vez, foram definidas pela análise integrada entre o conjunto de elementos da paisagem, tais como uso do solo, geologia, formas de relevo, chuvas e declividades, e foi dividida em 3 classes de análise: áreas estáveis, áreas intermediárias e áreas instáveis.

Figura 5 - Carta de Vulnerabilidade do município de Pirassununga-SP.



3.3.1 Áreas estáveis

Assim como propõe Tricart (1977), as áreas estáveis são aquelas onde essencialmente a pedogênese sobrepõe à morfogênese, com evolução lenta do modelado, ou seja, quando a interação entre as dinâmicas internas e externas da Terra não resultam em resultados drásticos para a paisagem. Estas áreas tendem a demonstrar maior resiliência quanto à intervenção das atividades antrópicas sobre o ecossistema, devido ao histórico evolutivo de sua paisagem.

No município de Pirassununga foi diagnosticado que apenas 12 % do total do território apresenta áreas estáveis, que ocorrem sobre formações geológicas superficiais da formação serra geral, cobertura vegetal que indica alto grau de preservação (Florestas, Cerrado e campos naturais), relação entre baixas declividades e vegetação ripária do rio Mogi-Guaçu, além da distribuição regular de chuvas. É possível salientar, também, que as formas do terreno que compõe tais áreas são favoráveis a distribuição do fluxo de matéria e energia ao longo da encosta, diminuindo a capacidade de erosão das chuvas.

Destaca-se aqui, assim como identificado na carta de uso do solo, que o alto grau de antropização da paisagem e a conseqüente baixa presença relativa de áreas de vegetação natural contribuem expressivamente para que a estabilidade ecodinâmica local seja majoritariamente baixa.

Dessa forma, a partir dos dados acima expostos, entende-se que há a necessidade do planejamento territorial local, por parte do poder público, ser direcionado a ações que promovam a conservação das áreas naturais existentes, e o consequente aumento da estabilidade ecodinâmica local.

A manutenção e conservação dos fragmentos naturais remanescentes garantem a integridade biológica, relacionada à biodiversidade e ao funcionamento do ecossistema (processos ecológicos), a resiliência do sistema perante perturbações antrópicas e naturais, e consequentemente, a geração dos serviços ecossistêmicos (Roche & Campagne, 2017). Neste caso, se destacam todos os benefícios obtidos diretamente ou indiretamente pela sociedade, como, os serviços de provisão de alimentos e a manutenção da quantidade e qualidade da água, os serviços de regulação do clima e de doenças, e os serviços de suporte, como a manutenção da qualidade e a estrutura dos solos (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005)

Uma das maneiras para assegurar o funcionamento e o fornecimento dos serviços é a aplicação da Lei 12.651, que estabelece a obrigatoriedade da demarcação das áreas de preservação permanente (APPs), das Reservas Legais (LG), além da exploração sustentável de áreas florestais. Estes mecanismos legais visam alcançar a conservação dos ecossistemas e de seus processos ecológicos, além de impulsionar o uso sustentável dos recursos, conciliando os interesses ecológicos e social-econômico (Pontes et al., 2019).

3.3.2 Áreas intermediárias

Podemos considerar as áreas Intermediárias como faixas transitórias entre as áreas Estáveis e as áreas Instáveis. São locais onde encontra-se certo grau de resiliência da paisagem, entretanto, tal condição é bastante suscetível a alterações provenientes de eventos atmosféricos de grande porte bem como de intervenções antrópicas de média e alta degradabilidade. Portanto, são regiões do território que já demandam cuidados e planejamento adequado para que sua classe não seja alterada rumando à instabilidade ecodinâmica.

O fato de que as áreas transitórias podem sofrer alterações (geralmente negativas) na estrutura da paisagem vai de encontro com o proposto por Campos (2018) que tratou de identificar também as fragilidades potenciais e emergentes da paisagem na composição do zoneamento geoambiental municipal.

A carta de vulnerabilidade natural demonstrou que 37 % do território de Pirassununga apresenta áreas transitórias, majoritariamente localizadas nas zonas central (próximo à área urbana) e nordeste do município.

Assim como propõe Mezzalana (1981), as rochas da seção superior da formação Corumbataí, que são maioria na conjuntura dessas áreas, são constituídas por uma sequência de argilitos e arenitos finos de característica argilosa, regulares e bem classificados; aliadas às formas de relevo aplainadas, são os fatores que acarretam a dose de estabilidade ao local. Entretanto, as declividades entre 10 a 15 % e os usos locais identificados como Pastagens, Agricultura (Culturas perenes e semiperenes) além de baixa cobertura vegetal natural são o contraponto desse sistema, que acaba tornando-se também instável às alterações de origem antrópica.

Dentro da proposta de zoneamento ecológico-econômico e em uma comparação com o padrão de ocupação do território local, podemos ressaltar que as áreas transitórias são de especial interesse ao desenvolvimento do município. Analisando a concentração dessas áreas na zona central do município, justamente no entorno imediato da área urbana, é possível diagnosticar que são também zonas de crescimento municipal, que demandam ainda mais cuidados no direcionamento dos novos projetos de urbanização.

Deste modo, é crucial que a expansão urbana nestas áreas intermediárias seja realizada com base em princípios de planejamento sustentável, respeitando as limitações geológicas do ambiente físico aqui citados, bem como a conservação de áreas verdes naturais (Brasil, 2012; Steinke et al., 2014) e corpos hídricos já existentes (Carneiro et al., 2010), além da inserção de áreas verdes permeáveis na forma de parques urbanos, por exemplo (CONAMA, 2006; MMA, 2020). Medidas neste sentido colaboram para o aumento do grau de estabilidade ecodinâmica do local, efetivando a drenagem, evitando processos de assoreamento, erosão, enchentes em eventos intensos de chuva, e contribuem com a manutenção da diversidade biológica da região.

3.3.3 Áreas instáveis

As áreas instáveis são caracterizadas pela predominância da morfogênese em relação à pedogênese, ou seja, onde os processos de sedimentação, erosão e deposição de sedimentos sobrepõe a formação natural de solo em uma determinada paisagem. Além disso, podemos destacar tais áreas como as mais frágeis em relação à sua ecodinâmica e onde a relação entre as ações praticadas pelos seres humanos acarretam maior risco ao equilíbrio da paisagem.

São áreas formadas pela junção espacial entre formações geológicas superficiais de característica arenosa e muito arenosa, altas declividades (acima dos 30 %), usos do solo altamente degradantes à paisagem e formas de relevo que concentram o fluxo de material e energia na encosta, promovendo maior suscetibilidade à erosão e movimentos gravitacionais de massa.

Nestes locais foram diagnosticados a presença de grandes áreas agrícolas (principalmente cana-de-açúcar), que colocam em risco a estabilidade natural por serem atividades potencialmente poluidoras de solos e águas, além de que o manejo inadequado das culturas pode promover o desgaste do solo, tanto estruturalmente como quimicamente. Podemos destacar, também, a presença de solo exposto, mineração e áreas urbanas, que acarretam diferentes intervenções negativas ao ecossistema local.

Salienta-se que o arcabouço geológico contido nas áreas instáveis está intimamente ligado a muitos processos recentes de deposição de sedimentos do Quaternário que apresentam baixo grau de agregação de partículas, facilitando seu arraste a partir do efeito splash promovido pelas gotas de chuva. Além disso, como propõe Mezzalira (1981), as demais formações geológicas (Aquidauana e Pirambóia) são pacotes de arenitos também suscetíveis a perdas de solo, principalmente se o manejo for inapropriado à sua fragilidade natural.

Assim, por estarem presentes em 51 % do território de Pirassununga, tais áreas exigem um grande esforço de planejamento para que não contribuam com a perda de diversidade e de serviços ecossistêmicos essenciais, tendo em vista que existe alto grau de antropização dessas regiões e, somando isso às características geoambientais locais, tornam-se altamente suscetíveis ao processo erosivo.

Por conseguinte, indica-se para os ambientes instáveis, a necessidade de ações de manejo físico do solo com o objetivo da recuperação da degradação (quando presente) e também a manutenção da vegetação natural, bem como a restauração florestal nestes locais. É importante ressaltar que a ordem das atividades de manejo deve respeitar os limiares da natureza biótica e abiótica (King; Hobbs, 2006), onde, além da conservação de áreas naturais como a primeira grande medida, deve ser realizado a estabilização de áreas degradadas e retirada de estressores do meio físico (estes que impactam o estabelecimento da vegetação), e após isso, deve ocorrer o planejamento e implantação da vegetação, seguindo os critérios da restauração ecológica.

Além disso, é imprescindível a prática do manejo sustentável nas áreas agrícolas para assegurar a manutenção da fertilidade e estrutura do solo, assim como minimizar os possíveis impactos negativos desta atividade em outros compartimentos naturais, como os corpos hídricos. Para essa finalidade, são empregadas variadas técnicas, como o plantio direto na palhada, a rotação de culturas e adubação verde, onde a aplicação conjunta destas técnicas objetiva de modo geral a reabilitação química, física e biológica do solo por meio da constante presença de resíduos agrícolas e o não revolvimento do solo (EMBRAPA, 2009; Santos & Reis, 2001). Ou ainda podem ser aplicados os sistemas agroflorestais, prática embasada na combinação do plantio de espécies arbóreas com os cultivos agrícolas e/ou animais na mesma área, e que visa garantir a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais (como os solos), assim como a geração de renda para os produtores (Ferreira et al., 2016; Schembergue et al., 2017).

4. Conclusão

A aplicabilidade da metodologia escolhida para gerar a carta de vulnerabilidade natural foi considerada adequada devido à praticidade de execução, bem como a disponibilidade das informações de geologia, relevo, uso do solo, declividade e pluviosidade em bancos de dados pré-existentes sobre a área de estudo. Ademais, a

escolha da inferência fuzzy para normalização dos dados foi eficaz, visto o seu potencial em representar fronteiras de forma mais próxima da realidade nas cartas temáticas, o que permitiu resultados mais satisfatórios.

Com relação aos resultados do produto gerado neste trabalho, nota-se a alta porcentagem de áreas vulneráveis e instáveis presentes ao longo do perímetro de Pirassununga-SP, o que ressalta a importância do planejamento ambiental territorial para o desenvolvimento e gestão urbana e rural do município. Deste modo, espera-se que este estudo possa servir como subsídio para a tomada de decisões, principalmente em relação a escolha de áreas mais adequadas para implantação de atividades ou empreendimentos, bem como no auxílio à criação de políticas públicas e gestão ambiental sustentável do município, com destaque para as zonas com características naturais mais vulneráveis.

Por conseguinte, surgem algumas implicações para o futuro, como a necessidade da elaboração da carta temática de potencialidade social do local, tendo em vista que este é o segundo elemento para a realização do Zoneamento Ecológico-Econômico do município.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsa de doutorado, aportada ao processo 2016/19020-0 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), aportada aos processos 141671/2019-0 e 131042/2020-3. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. Referências

Barreto, E. P., Silva, C. M., & Oliveira, P. F. (2012). Análise da mineração em áreas urbanas no contexto do ordenamento territorial: estudo de caso do município de Jaboatão dos Guararapes, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 5(5), 1002-1018. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v5.5.p1069-1087>.

Becker, B. K., & Egler, C. A. (1997). **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia legal**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Secretaria de Coordenação da Amazônia. Disponível em: <www.egler.com.br/pdf/Metodo_ZEE.pdf>. Acessado em: julho de 2020.

Boico, V. F., Wendland, E., & Batista, J. A. D. N. (2018). Avaliação do rebaixamento potenciométrico no Sistema Aquífero Guarani em Bauru/SP usando um modelo de elementos analíticos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 23, e2. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0318170121>.

BRASIL. **Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, 11 de jul. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2002/decreto-4297-10-julho-2002-468375-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acessado em março de 2021. 2002.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, 2 de set. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6938-31-agosto-1981-366135-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acessado em fevereiro de 2021. 1981.

Brasil. **Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, altera as Leis**

n^os 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n^os 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n^o 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, 28 de mai. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-norma-pl.html>>. Acessado em: fevereiro de 2021.

Bufon, A. G. M., Tornisielo, S. M. T., de Melo, J. S. C., & Landim, P. M. B. (2012). Atividades antrópicas na microbacia do córrego da barrinha, município de Pirassununga, estado de São Paulo, Brasil. **Holos Environment**, 12(1), 58-74. <http://doi.org/10.14295/holos.v12i1.3974>.

Campos, M. (2018). **Zoneamento ecológico econômico como ferramenta para gestão ambiental no município de Barra Bonita/SP**. Tese de Doutorado em Agronomia. Faculdade de Ciências Agrônomicas, Unesp, Botucatu.

Carneiro, P. R. F., Cardoso, A. L., Zamprônio, G. B., & Martingil, M. D. C. (2010). A gestão integrada de recursos hídricos e do uso do solo em bacias urbano-metropolitanas: o controle de inundações na bacia dos rios Iguaçú/Sarapuí, na Baixada Fluminense. **Ambiente & Sociedade**, 13(1), 29-49. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2010000100003>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB (2020). **Acompanhamento da safra de cana de açúcar: V. 6, Safra 2019/20, N^o4, abril de 2020**. Disponível em:< www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/31590_6cfbbc41aa04783c69113c50fa499cba>. Acessado em: maio de 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução Conama N^o 369, de 28 de março De 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP**. Diário Oficial da União, 29 de mar. Disponível em:< <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5486>>. Acessado em: fevereiro de 2021. 2006.

Cunha, N. R. D. S., Lima, J. E. D., Gomes, M. F. D. M., & Braga, M. J. (2008). A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 46(2), 291-323. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000200002>.

Gorayeb, A., de Souza, M. J. N., de Figueirêdo, M. C. B., Araújo, L. D. F. P., de Freitas Rosa, M., & da Silva, E. V. (2010). Aspectos geoambientais, condições de uso e ocupação do solo e níveis de desmatamento da bacia hidrográfica do rio Curu, Ceará-Brasil. **GEOGRAFIA (Londrina)**, 14(2), 85-106. <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2005v14n2p85>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (2009). **Manejo Agroecológico do solo: benefícios da adubação verde**. Teresina: Embrapa Meio Norte. Disponível em:< ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/80695/1/documento-193.pdf >Acessado em: maio de 2020.

Fernandes, A. J., Perrotta, M. M., Salvador, E. D., Azevedo, S. G., Gimenez Filho, A., & Paulon, N. (2007). Potencial dos aquíferos fraturados do estado de São Paulo: condicionantes geológicos. **Águas Subterrâneas**, 21(1), 65-84. <https://doi.org/10.14295/ras.v21i1.16168>.

Ferreira, T. M. C., Vasconcelos, M., Cantão, B. P., Da Silva, J. L., & Aguiar, W. K. (2016). Uso da terra com base no sistema agroflorestal: um estudo no município São Domingos do Capim, Pará. **Revista de Ciências Agroambientais**, 14(2), 94-99 <https://periodicos.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/1609>.

Gibin, N. A. (2014) **A mecanização da colheita da cana-de-açúcar e as mudanças no trabalho: um estudo de caso no município de Pirassununga**. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Ciências Econômicas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Cook, W. M. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science advances**, 1(2), e1500052. doi: 10.1126/sciadv.1500052.

Henrique, M. A., de Souza, A. A. M., & Reschilian, P. R. (2017). Notas sobre as políticas territoriais no Brasil e a institucionalização da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN). **Acta Geográfica**, 11(26), 118-131. <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v11i26.4268>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2017). **Cidades**. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br>. Acessado em: junho de 2020.

INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. **Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico do Estado de São Paulo**. Disponível em: <www.igeologico.sp.gov.br/publicacoes/mapas/shapefile-das-unidades-basicas-de-compartimentacao-do-meio-fisico-do-estado-de-sao-paulo/> Acessado em: maio de 2020.

INSTITUTO FLORESTAL – IF (2020). **Resultados do Mapeamento Temático da Cobertura Vegetal Nativa do Estado de São Paulo, Inventário Florestal do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2020/07/tabela-municipio-inventario-florestal-if-2020.pdf>>. Acesso em: setembro de 2020.

Illi, J. C., Vancetta, T., Alves, D. D., Osório, D. M. M., Bianchin, L., de Quevedo, D. M., & Juchem, F. (2017). Integrated assessment of air pollution by metals and source apportionment using ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) in southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 24(3), 2790-2803. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8041-y>.

Iritani, M. A.; ezaki, S. (2012). **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo (2 ed.)** São Paulo: Secretaria do Estado de Meio Ambiente – SMA.

Islam, K. R., & Weil, R. R. (2000). Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 79(1), 9-16. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00145-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00145-0).

Iwashita, F., Friedel, M. J., & Ferreira, F. J. (2018). A self-organizing map approach to characterize hydrogeology of the fractured Serra-Geral transboundary aquifer. **Hydrology Research**, 49(3), 794-814. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.221>.

Kainz, W. (2007). **Fuzzy Logic and GIS**. Vienna: University of Vienna.

King, E. G., & Hobbs, R. J. (2006). Identifying linkages among conceptual models of ecosystem degradation and restoration: towards an integrative framework. **Restoration Ecology**, 14(3), 369-378. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00145.x>.

Lossardo, L. F., & Lorandi, R. (2014). Caracterização do meio físico da bacia hidrográfica do Ribeirão do Ouro no município de Pirassununga (SP), como subsídio ao zoneamento geoambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, 66(3), 519-535. <http://200.19.146.79/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44759/23771>.

Machado, F. B., Nardy, A. J. R., De Melo, R. P., De Oliveira, M. A. F., & Squisato, E. (2007). As rochas

intrusivas da formação Serra Geral na porção leste da bacia do Paraná no estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos—resultados preliminares. **Geociências (São Paulo)**, 24(1), 5-17. <http://hdl.handle.net/11449/68610>.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSEMENT. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU (2005). **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Disponível em:< <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> >. Acessado em: junho de 2020.

Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., ... & Day, J. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**, 520(7545), 45-50. <https://doi.org/10.1038/nature14324>.

Ministério Do Meio Ambiente (2020). **Parques e áreas verdes**. Disponível em:< www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/parques-e-areas-verdes.htm>. Acessado em: maio de 2020.

Ministério Do Meio Ambiente (2020). **Zoneamento Ecológico Econômico**. Disponível em:< www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial.html>. Acessado em: abril de 2020.

Parron, L. M.; Garcia, J. R. (2015). Serviços ambientais: conceitos, classificação, indicadores e aspectos correlatos. In: Parron, L. M.; Garcia, J. R.; Oliveira, E. B. De; Brown, G. G.; Prado, R. B. (Eds.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF : Embrapa.

Pereira, H. M., Leadley, P. W., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J. P., Fernandez-Manjarrés, J. F., ... & Chini, L. (2010). Scenarios for global biodiversity in the 21st century. **Science**, 330(6010), 1496-1501. doi: 10.1126/science.1196624.

Perinotto, J. A. D. J., Etchebehere, M. L. D. C., Simões, L. S. A., & Zanardo, A. (2008). Diques clásticos na Formação Corumbataí (P) no nordeste da Bacia do Paraná, SP: Análise sistemática e significações estratigráficas, sedimentológicas e tectônicas. **Geociências**, 27 (4), 469-491. <http://hdl.handle.net/11449/70763>.

PIRASSUNUNGA. Prefeitura Municipal. **História**. 2020. Disponível em:< <http://pirassununga.sp.gov.br/acidade/historia-2/>>. Acessado em: abril de 2020.

Pontes, D. M. F., Engel, V. L., & Parrotta, J. A. (2019). Forest structure, wood standing stock, and tree biomass in different restoration systems in the Brazilian Atlantic Forest. **Forests**, 10(7), 588. <https://doi.org/10.3390/f10070588>.

Reis, I., Fernandes, C. E., & de Araújo Fernandes, L. I. F. (2020). Ocupação urbana: uso desordenado dos recursos hídricos no córrego João Cesário em Anápolis-GO/Urban occupation: miscellaneous use of water resources in João Cesario Stream in Anápolis-GO. **Brazilian Journal of Development**, 6(1), 1116-1137. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-079>.

Roche, P. K., & Campagne, C. S. (2017). From ecosystem integrity to ecosystem condition: a continuity of concepts supporting different aspects of ecosystem sustainability. **Current opinion in environmental sustainability**, 29, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.12.009>.

Rosa Filho, E. F., Hindi, E. C., Mantovani, L. E., & Bittencourt, A. V. L. (2006). A Importância Do Sistema Aquífero Serra Geral Para a Cultura da Soja No Estado Do Paraná. **Águas Subterrâneas**, 20(2), 49-56. <https://doi.org/10.14295/ras.v20i2.10720>.

Santos, H. P.; Reis, E. M. (2001). **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo.

Santoro, P. F., Lemos, P. N., & Bonduki, N. (2010). Cidades que crescem horizontalmente: o ordenamento territorial justo da mudança de uso rural para urbano. **Cadernos Metrópole**, 12(24), 417-440. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402837809005>.

Schembergue, A., Cunha, D. A. D., Carlos, S. D. M., Pires, M. V., & Faria, R. M. (2017). Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 55(1), 9-30. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550101>.

SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – SEADE (2020). **Perfil dos municípios paulistas**. Disponível em: < <https://perfil.seade.gov.br/>>. Acessado em: junho de 2020.

Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 109(40), 16083-16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>.

Silva, G. D., & Werle, H. J. S. (2007). Planejamento urbano e ambiental nas municipalidades: da cidade a sustentabilidade, da lei a realidade. **Paisagens em debate: Revista Eletrônica da Área Paisagem e Ambiente**, FAU/USP, [s.l.](5), 24. <https://bityli.com/CfPtV>.

Silva, J. F., Ruiz, I. H., Guerrero, J. V. R., & Moschini, L. E. (2019). Zoneamento Geoambiental para o uso sustentável de aquíferos no município de Pirassununga-SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 12(04), 1277-1290. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1277-1290>.

Soares, T. S., Carvalho, R. M. M. A., Viana, E. C., & Antunes, F. C. B. (2006). Impactos ambientais decorrentes da ocupação desordenada na área urbana do município de Viçosa, estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, 4(8), 1-14.

Steinke, V. A.; Araújo Neto, M. D.; Carvalho, S. A. (2014). Áreas verdes em ambientes urbanos: reflexões sobre sustentabilidade ambiental das bacias de drenagem. In: Sobreira, F. J. A.; Ganem, R. S.; Araújo, S. M. V. G. **Qualidade e sustentabilidade do ambiente construído: legislação, gestão pública e projetos**. Brasília: Câmara dos Deputados.

Taniwaki, R. H., Rosa, A. H., De Lima, R., Maruyama, C. R., Secchin, L. F., Do Carmo Calijuri, M., & Moschini-Carlos, V. (2013). A influência do uso e ocupação do solo na qualidade e genotoxicidade da água no reservatório de Itupararanga, São Paulo, Brasil. **Interciência**, 164-170. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339/33926977002>.

Trevisan, D. P., Moschini, L. E., & Trevisan, B. P. (2018). Avaliação da vulnerabilidade dos solos à erosão no município de São Carlos-SP. **Revista de Geografia (Recife)**, 35(2), 354-370. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/230496>

Wendland, E., & Rabelo, J. L. (2010). Incertezas nos modelos de fluxo subterrâneo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 15, 147-60. doi: 10.21168/rbrh.v15n3.p147-160.

ZAINE, J.E., 2000. **Mapeamento geológico- geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro, SP**. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro.