

FUSHIMI, Melina; NUNES, João Osvaldo Rodrigues (2016)



INTERFACE
ISSN 2448-2064



167

Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva do pensamento da complexidade.

Geoprocessing and Geographic Information System in perspective of complexity thought.

Melina Fushimi¹

Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNESP), Câmpus de Presidente Prudente-SP.
melinafushimi@yahoo.com.br

João Osvaldo Rodrigues Nunes²

Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNESP), Câmpus de Presidente Prudente-SP.
joaosvaldo@fct.unesp.br

RESUMO: O avanço e a difusão das técnicas computacionais em diversas áreas do conhecimento, especialmente na Geografia, têm proporcionado utilizá-las como instrumento relevante nos estudos ambientais, bem como na espacialização de informações para auxiliar a elaboração de diagnósticos e prognósticos, tanto em paisagens urbanas quanto rurais. Diante deste contexto, o objetivo principal do presente artigo foi abordar o Geoprocessamento e os Sistemas de Informação Geográfica, particularmente, as técnicas de inferência *booleana* e *fuzzy*, sob a perspectiva do pensamento da complexidade. A partir de um dos operadores *fuzzy* – técnica do Processo Analítico Hierárquico (AHP) – elaborou-se o mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) do município de Presidente Prudente-SP na escala 1:25.000. Diante da complexidade e inter-relação dos fenômenos ambientais, as técnicas de inferência espacial e as representações cartográficas podem ser utilizadas como importantes ferramentas na análise das dinâmicas das paisagens e nos procedimentos de tomadas de decisões por especialistas e estudiosos, tanto no âmbito geográfico, como em outras ciências.

Palavras-chave: Lógica *booleana*. Lógica *fuzzy*. Processo Analítico Hierárquico (AHP). Mapeamento. Presidente Prudente-SP.

ABSTRACT: The advance and diffusion of computational techniques in several areas of knowledge, especially in Geography, has provided use it as a relevant instrument in environmental studies as well as the spacialization of information to assist the elaboration of diagnostic and prognostic, in urban and rural landscapes. Therefore, this assignment aimed to study Geoprocessing and Geographic Information System, particularly, boolean algebra and fuzzy sets in perspective of complexity thought. It was used the Analytical Hierarchy Process (AHP) for elaborating the environmental vulnerability of linear erosive processes (rills, ravines and gullies) map of Presidente Prudente County, São Paulo State, in scale 1:25.000. Based on complexity and interrelation of environmental phenomena, the techniques of spatial inference and cartographic representations may be used as important tools in analysis of landscapes dynamics and decision making by experts and students, in geographical

¹Mestra em Geografia pela UNESP, Câmpus de Presidente Prudente-SP. Doutoranda em Geografia pela UNESP, Câmpus de Presidente Prudente-SP.

²Professor Adjunto de Geografia da UNESP, Câmpus de Presidente Prudente-SP.

aspect and other sciences.

Key words: Boolean algebra. Fuzzy sets. Analytical Hierarchy Process (AHP). Mapping. Presidente Prudente-SP.

1. INTRODUÇÃO

168

A partir da segunda metade do século XX, no contexto histórico do fim da Segunda Guerra Mundial e advento da Guerra Fria, com o desenvolvimento da ciência espacial e, em consequência, da tecnologia da Informática, possibilitaram o armazenamento e a representação de documentos cartográficos em ambiente computacional. Sob tais circunstâncias tem-se o surgimento do Geoprocessamento, o qual:

[...] denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. (CÂMARA; DAVIS, 2001, p. 2).

Essa disciplina tem sido incorporada gradativamente na Geografia brasileira, a princípio, na década de 1980 e, em especial, após 1990, com o surgimento de alternativas menos custosas de *hardwares* e *softwares*, além de bases de dados geográficos (CÂMARA e DAVIS, 2001).

O Geoprocessamento é constituído pelo conjunto de ferramentas computacionais denominadas Sistemas de Informação Geográfica (SIG ou GIS³), em que “[...] permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos” (CÂMARA; DAVIS, 2001, p. 2).

O avanço e a difusão das técnicas computacionais em diversas áreas do conhecimento, especialmente na Geografia, têm proporcionado utilizá-las como instrumento importante nos estudos ambientais, bem como na espacialização de informações para auxiliar a elaboração de diagnósticos e prognósticos, tanto em paisagens urbanas quanto rurais.

Nesse sentido, o objetivo principal do presente artigo foi abordar o Geoprocessamento e os Sistemas de Informação Geográfica, particularmente, as técnicas de inferência *booleana*

³ Sigla em inglês: “*Geographic Information System*”. No presente trabalho, optou-se pela utilização do termo em português (SIG).

e *fuzzy*, sob a perspectiva do pensamento da complexidade. A partir de um dos operadores *fuzzy* – técnica do Processo Analítico Hierárquico (AHP) – elaborou-se o mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) do município de Presidente Prudente-SP na escala 1:25.000.

Sendo assim, o trabalho optou pelo pensamento da complexidade como modo predominante de ordenação das ideias, entretanto, não desconsidera as demais interpretações existentes, uma vez que “As geografias atuais são múltiplas, adotam múltiplos métodos, constroem múltiplas visões/leituras, valorizam as singularidades, as identidades” (SUERTEGARAY, 2004, p. 188).

2. REVISÃO TEÓRICA

Técnicas de inferência espacial sob o pensamento da complexidade

Diante da complexidade e inter-relação dos processos ambientais, as técnicas de inferência espacial vêm contribuindo, por meio da combinação de informações espaciais, na análise e compreensão das interações dos fenômenos geográficos. Sob o contexto de elaboração de novos mapas, com base em dados ou documentos cartográficos já existentes, existem diversas técnicas disponíveis, como a *Booleana*, *Média Ponderada*, *Fuzzy*, *Bayesiana* e *Redes Neurais Artificiais*.

Segundo Morin⁴, uma das principais referências acerca do pensamento da complexidade, “[...] o todo organizado é alguma coisa a **mais** do que a soma das partes, porque faz surgir qualidades que não existiriam nessa organização” (MORIN, 2010, p. 180, grifo nosso). Sob essa concepção, em ambientes SIG, a escolha pelo usuário da(s) técnica(s) de inferência espacial permite simplesmente a soma dos elementos ou ir além, ao integrar as evidências e proporcionar, como consequência, qualidades no mapa resultante (todo organizado).

Importante destacar, conforme aborda Morin (2010), que o uso das tecnologias computacionais está vinculado à cibernética e à teoria da informação.

⁴ Apesar do presente trabalho focar as ideias de Edgar Morin, demais autores, como Ilya Prigogine, também possuem contribuições relevantes na compreensão da complexidade.

A cibernética rompe o início da causalidade linear e introduz o entendimento de círculo causal, uma vez que “A age sobre B e B age, em retorno, sobre A. A causa age sobre o efeito e o efeito sobre a causa” (MORIN; LE MOIGNE, 2000, p. 202).

A teoria da informação é uma ferramenta relacionada à incerteza, à surpresa e ao inesperado, em que permite entrar em um universo onde existem, simultaneamente, a ordem, a desordem e, portanto, o novo (a informação). Além disso, a informação pode assumir a forma organizadora (programadora) no interior de uma máquina cibernética (MORIN; LE MOIGNE, 2000).

Dessa maneira, a articulação entre os conceitos apresenta duas vertentes:

[...] uma em que existe nova mensagem e nova complexidade que nos levam a modificar e a enriquecer o olhar; outra é a da redução de qualquer aspecto do real em favor do elemento novo que deixa de ser complexo porque reduz tudo a si. (MORIN, 2010, p. 109-110).

Neste texto, optou-se pela primeira ideia por compreender que o uso da cibernética não pode ser reduzido a meros trabalhos manuais ou a máquinas artificiais, ou seja, pensar de forma unidimensional, mas por entender que o desenvolvimento das técnicas computacionais, de modo transdisciplinar entre os diversos ramos científicos, está relacionado às concepções de sociedade, vida e ser humano (MORIN, 2010).

Por conseguinte, embasada nas ideias de Morin (2010) e na obra de Câmara et al. (2001) serão apresentadas e discutidas as técnicas de inferência *booleana* e *fuzzy*, particularmente, a Técnica do Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process* – AHP).

Inferência *booleana*

A inferência *booleana* aplicada em ambientes SIG corresponde à combinação de mapas mediante a sobreposição de “*overlayers*” em formato analógico sobre uma mesa de luz. De maneira geral, pode ser considerado um procedimento de soma das partes (mapas), em contraposição à primeira etapa da complexidade preconizada por Morin (2003, p. 124, grifo do autor), em que “*Um todo é mais do que a soma das partes que o constituem*”.

Câmara et al. (2001) explicam que, a partir de uma preposição definida, os mapas,

compreendidos como planos de informação (evidências), são agrupados e o resultado é expresso de modo binário e dicotômico: “0” (hipótese não satisfeita) e “1” (hipótese satisfeita), não sendo possível a circunstância talvez.

Com o intuito de integrar os planos de informação binários, a álgebra *booleana* emprega os ponderadores lógicos e simples “E”, “OU”, “Exclusivo OU (XOR)” e “NÃO”, os quais determinam se uma suposição satisfaz ou não dada condição.

Câmara et al. (2001) ainda afirmam que, apesar da praticidade e simplicidade, a lógica *booleana* geralmente não é a mais adequada, pois as evidências não apresentam importância relativa e, conseqüentemente, não recebem pesos diferentes nas combinações. Entretanto, nos estudos ambientais, sua aplicação é viável e utilizada no que se refere às situações em que limites de corte foram estabelecidos por leis ou códigos, por exemplo, a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reservas Legais.

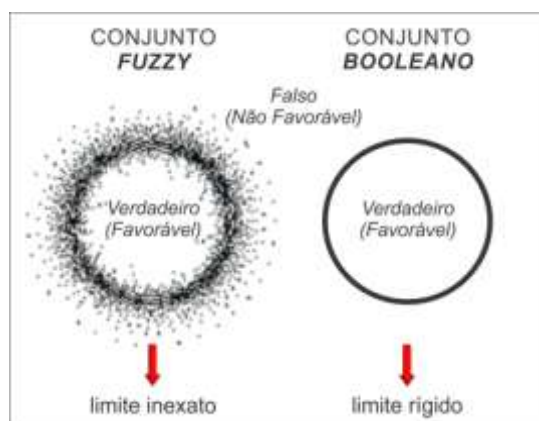
Inferência *fuzzy* ou nebulosa

Com a proposta de lidar com conceitos inexatos e a preocupação em relação aos modelos matemáticos tradicionais que apresentavam rápida diminuição da qualidade da informação conforme aumentava a complexidade do sistema, Zadeh (1965) introduziu a inferência *fuzzy*, também denominada de nebulosa (CÂMARA et al., 2001; MOREIRA, 2001).

A imprecisão, comumente desconsiderada em várias áreas do conhecimento, passa a ser reconhecida na ciência matemática. “Ora é preciso aceitar uma certa imprecisão e uma imprecisão certa, não apenas nos fenômenos, mas também nos conceitos, e um dos grandes progressos da matemática de hoje é considerar os *fuzzy sets*, os conjuntos imprecisos” (MORIN, 2003, p. 53).

Sob esse entendimento, a inferência nebulosa é uma metodologia de caracterização de classes, onde não são definidos limites rígidos (bordas) entre elas (BURROUGH e MCDONNELL, 1998 apud CÂMARA et al., 2001), existindo uma faixa progressiva entre as situações favoráveis e não favoráveis. Por outro lado, a inferência *booleana* é representada somente por duas classes: verdadeiro e falso ou favorável e não favorável (Figura 1).

Figura 1. Diferença de fronteiras entre os conjuntos *fuzzy* e *booleano*.



Fonte: BURROUGH (1989).
Modificado pelos autores.

No conjunto *fuzzy*, as classes são definidas de maneira inexata e permanecem inseridas em um contexto organizado, pois são previamente estabelecidas pelo usuário, de acordo com variados critérios, como conhecimento teórico e empírico, bem como a finalidade do documento cartográfico a ser elaborado.

No mais, a inferência *fuzzy* se aproxima do raciocínio humano e, por conseguinte, do pensamento de especialistas e pesquisadores em análises de problemas, situações e fenômenos, os quais, exceto em restrições impostas pela legislação, geralmente, não há respostas binárias (sim ou não) em procedimentos de tomada de decisão, sendo, dessa forma, aceita a condição talvez.

As vantagens do modelamento *fuzzy* são inúmeras quando comparadas aos modelamentos convencionais que forçam os especialistas à definirem regras dicotômicas rígidas com contatos normalmente artificiais que diminuem a habilidade de articular eficientemente soluções para problemas complexos, tão comum em processos naturais. (MOREIRA et al., 2001, p. 286).

Como explicita Morin (2010, p. 147), era próprio da ciência eliminar a imprecisão, a ambiguidade e a contradição, deste modo, a ciência identificava-se com a verdade, em que:

A ciência parecia, finalmente, o único lugar de certeza, de verdade certa, em relação ao mundo dos mitos, das idéias filosóficas, das crenças religiosas, das opiniões. A verdade da ciência parecia indubitável, visto que se baseava em verificações, em confirmações, numa multiplicação de observações, que confirmavam sempre os mesmos dados.

Desse modo, a inferência nebulosa abrange uma nova perspectiva, incluindo os

aspectos mencionados nas análises espaciais. “A utilização de um conjunto *Fuzzy* é indicada sempre que se tiver que lidar com ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos empíricos” (BURROUGH e MCDONNELL, 1998 apud CÂMARA et al., 2001, p. 243).

No âmbito *fuzzy* são disponibilizadas variadas metodologias, como os operadores *fuzzy* – *fuzzy* mínimo, *fuzzy* máximo, *fuzzy* média, *fuzzy* gama e *fuzzy* ponderado, em especial, a técnica do Processo Analítico Hierárquico – os quais viabilizam a combinação de dados nos SIG e a elaboração de diferentes hipóteses (cenários) sobre o tema de estudo.

Moreira (2001) empregou e comparou o desempenho de oito metodologias de análise espacial – inferência *booleana*, média ponderada, inferência *fuzzy* (mínimo-máximo, média, ponderado e gama), *bayesiana* e redes neurais artificiais – com o objetivo de selecionar áreas com maior potencial à ocorrência de minerais radioativos no complexo alcalino de Poços de Caldas-MG. Como conclusão, verificou que a representação gerada por intermédio do *fuzzy* ponderado (técnica AHP) apresentou o melhor desempenho em comparação às demais.

Especificamente sobre a técnica AHP, Melo et al. (2010) a utilizaram para determinar níveis de vulnerabilidade natural e ambiental (baixo, médio e alto) na zona estuarina do rio Formoso-PE e concluíram que a metodologia se mostrou eficiente no âmbito dos conceitos, das ferramentas e da aplicabilidade.

Pinese Júnior e Rodrigues (2012) também aplicaram o Processo Analítico Hierárquico como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade-MG e destacaram sua relevância em cartografar áreas de forma classificada: fracamente vulnerável, levemente vulnerável, moderadamente vulnerável, fortemente vulnerável e extremamente vulnerável. Os autores ainda reconheceram a importância do gestor e sua capacidade intelectual de análise (usuário) para obter um modelo coerente com a realidade estudada.

Técnica AHP – Processo Analítico Hierárquico

Apesar da variedade de técnicas existentes, Eastman et al. (1995) apontam a técnica AHP como a mais promissora em processos decisórios, possibilitando estabelecer e organizar um modelo racional de integração de dados. Ferramenta de análise multicritério, permite

melhorias em aplicações desenvolvidas em SIG. (MOREIRA, 2001).

Foi proposta por Saaty (1992) e requer uma estruturação hierárquica: “A hierarquia como forma de estrutura de um sistema permite expressar um problema complexo através da decomposição de seus elementos e da identificação das diferentes classes que compreendem um sistema no seu todo” (MOREIRA, 2001, p. 66). Assim, os elementos são classificados pelo seu grau de relevância em relação ao objetivo do mapeamento (problema).

Uma hierarquia bem construída será um bom modelo da realidade, podendo trazer vantagens. Primeiramente, a representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos. A hierarquia também permite a obtenção de uma visão geral de um sistema, desde os atores de níveis mais baixos até seus propósitos nos níveis mais altos. [...] Entretanto, apesar de apresentar vantagens, a hierarquia por si própria não é uma ferramenta poderosa no processo de tomada de decisões ou de planejamento. É preciso computar a força com que elementos de um nível atuam sobre os elementos do nível mais alto seguinte, assim como considerar forças relativas entre os níveis e os objetivos gerais. (SILVA, 2007, p. 41).

Posteriormente, tem-se a lógica da comparação pareada, ou seja, os diferentes fatores que contribuem para uma finalidade superior são comparados dois a dois e um critério de importância relativa, preferência ou probabilidade é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, em conformidade com a escala pré-definida na Figura 2 (CÂMARA et al., 2001).

Figura 2. Escala de valores AHP para comparação pareada.

Intensidade de Importância	Definição e explicação
1	<i>Importância igual</i> – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	<i>Importância moderada</i> – um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	<i>Importância essencial</i> – um fator é claramente mais importante que o outro
7	<i>Importância demonstrada</i> – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	<i>Importância extrema</i> – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2, 4, 6, 8	<i>Valores intermediários entre julgamentos</i> – possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: CÂMARA et al. (2001).

O valor 1 é atribuído pelo usuário quando os dois fatores possuem o mesmo nível de importância. Ao contrário, no valor 9, um fator é extremamente mais relevante que o outro. 2,

4, 6 e 8 representam valores intermediários. De acordo com Silva (2007), o julgamento reflete as respostas de duas perguntas: “Qual dos dois elementos é mais importante com respeito a um critério de nível superior?” e “Com que intensidade, utilizando a escala que varia de 1 a 9?”.

Em seguida, o sistema fornece uma indicação da consistência dos julgamentos (índice de consistência). De maneira geral, é aconselhável que seja sempre inferior a 0,1. Caso contrário, recomenda-se refazer os julgamentos (MOREIRA, 2001; SILVA, 2007).

A partir do Processo Analítico Hierárquico, elaborou-se o mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) do município de Presidente Prudente, localizado no Extremo Oeste do Estado de São Paulo, na escala 1:25.000, cujos procedimentos metodológicos são discorridos no tópico a seguir.

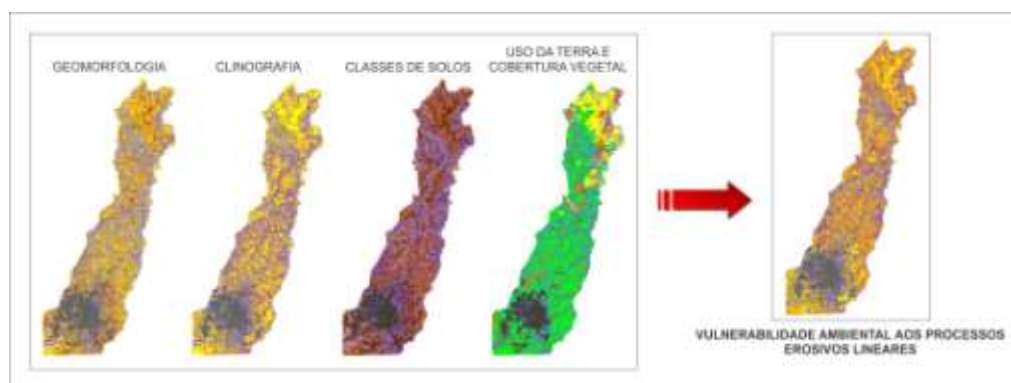
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares do município de Presidente Prudente

O mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares do município de Presidente Prudente-SP na escala 1:25.000 foi elaborado em ambiente SIG no *software* Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING^{®5}). Resultante da correlação das variáveis das paisagens – geomorfologia, clinografia, classes de solos, uso da terra e cobertura vegetal – estas foram espacializadas em mapas temáticos e incluídos nos Planos de Informações (Figura 3).

⁵ SPRING é marca registrada pelo INPE.

Figura 3. Ilustração referente à elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental, resultante da correlação das variáveis das paisagens (mapas temáticos).



Elaboração dos autores.

Com base na técnica AHP, utilizou-se a ferramenta de apoio “Suporte à Decisão AHP (Processo Analítico Hierárquico)”, em que os atributos (mapas) foram comparados par a par, segundo pesos distribuídos em nove níveis (Figura 4):

Figura 4. Escala de pesos para comparação pareada no *software* SPRING[®] por meio da ferramenta “Suporte à Decisão (AHP)”.

Pesos - “Suporte à Decisão (AHP)”	
1 - Igual	6 - Bem melhor
2 - Um pouco melhor	7 - Muito melhor
3 - Algo melhor	8 - Criticamente melhor
4 - Moderadamente melhor	9 - Absolutamente melhor
5 - Melhor	

Elaboração dos autores.

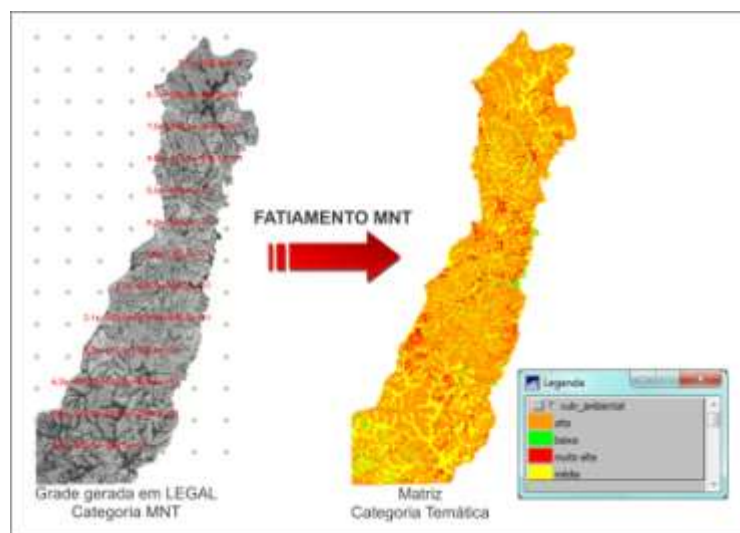
Como resultado, gerou-se uma base de programação em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) no formato do SPRING[®]. “Um programa em LEGAL consiste de uma sequência de operações descritas por sentenças organizadas segundo regras gramaticais, envolvendo operações, funções e dados espaciais” (CÂMARA et al., 1996, não paginado). Posteriormente, foi editada no Bloco de Notas (formato “txt”), onde se atribuíram valores entre 0,0 a 1,0 para as classes temáticas das variáveis. Quanto maior a vulnerabilidade ambiental à erosão, mais próximo de 1,0.

O procedimento final consistiu no fatiamento do Modelo Numérico de Terreno

(MNT), cujos níveis de vulnerabilidade – baixo, médio, alto e muito alto (Figura 5) – foram atribuídos com referências em Tricart (1977) e Ross (2006), com adaptações para as características ambientais da área estudada.

O **fatiamento** consiste em gerar uma imagem temática a partir de uma **grade retangular**. Os temas da imagem temática resultante correspondem a intervalos de valores de cotas, chamados no SPRING de fatias. Desta forma, um Plano de Informação da categoria numérica originará um Plano de Informação de categoria temática representando um aspecto particular do modelo numérico de terreno, conseqüentemente **cada fatia deve ser associada a uma classe temática** previamente definida no **Esquema conceitual** do Banco de Dados ativo. (CÂMARA et al., 1996, não paginado, grifo dos autores).

Figura 5. Fatiamento do Modelo Numérico de Terreno (MNT).



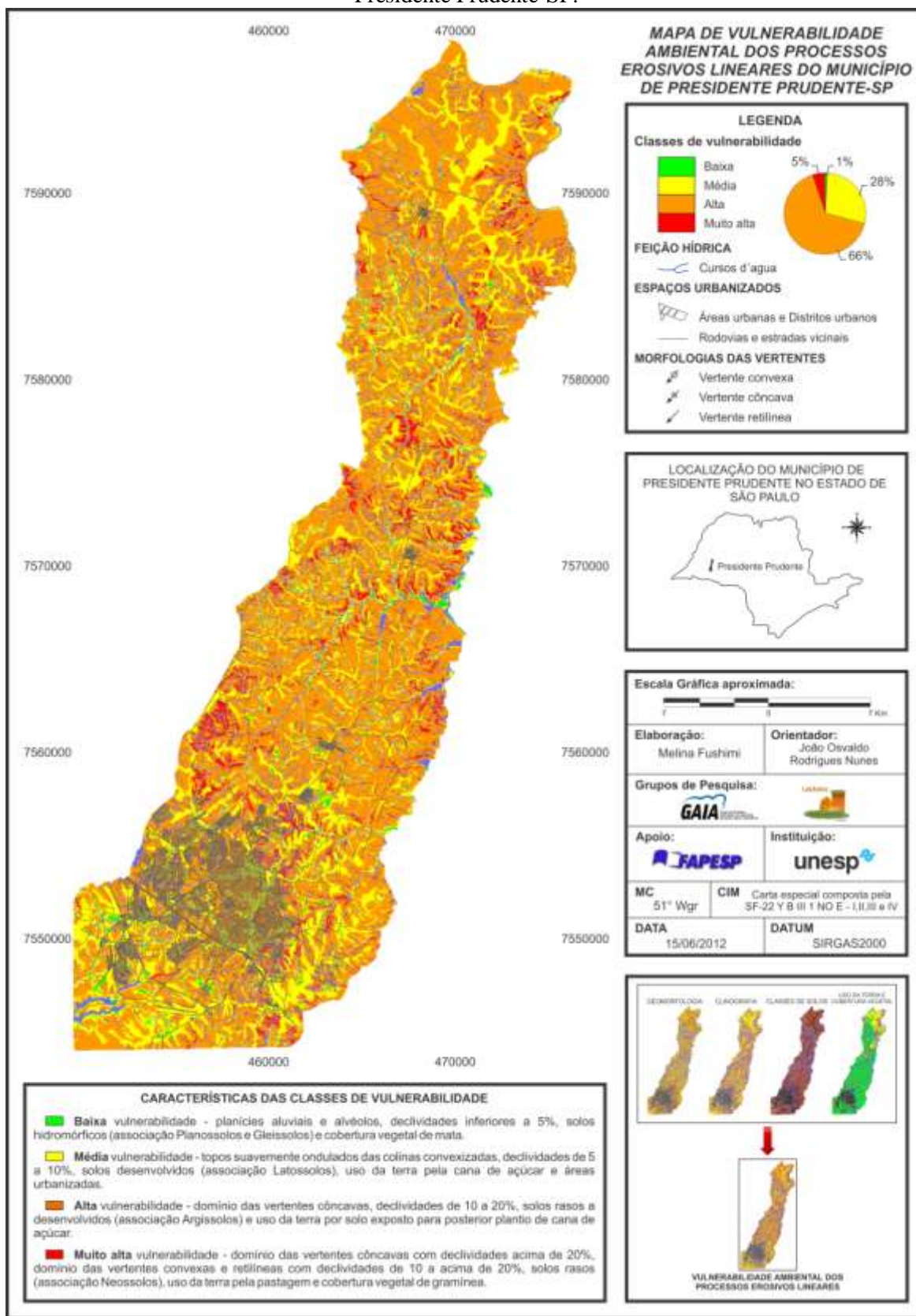
Elaboração dos autores.

Por fim, foram inseridos os cursos d'água, a malha urbana e as vias de acesso, ambos disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Presidente Prudente-SP.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado, tem-se o mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares do município de Presidente Prudente-SP na escala 1:25.000 (Figura 6).

Figura 6. Mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares do município de Presidente Prudente-SP.



Elaboração dos autores.

O referido documento cartográfico apresentou quatro níveis de vulnerabilidade – baixo, médio, alto e muito alto – caracterizados pelos seguintes atributos:

1. Baixa vulnerabilidade: presença de planícies aluviais e alvéolos, com declividades inferiores a 5%, solos hidromórficos (associação Planossolos e Gleissolos), depósitos tecnogênicos e cobertura vegetal de mata de encosta e ciliar;

2. Média vulnerabilidade: espacializada nos topos suavemente ondulados das colinas convexas, as declividades variam entre 5 a 10%, solos desenvolvidos (associação Latossolos Vermelhos) e uso da terra pelo cultivo de cana de açúcar;

3. Alta vulnerabilidade: localizada nas vertentes com morfologia côncava, predomínio de solo exposto, solos rasos a desenvolvidos (associação Argissolos Vermelhos) e declividades de 10 a 20%;

4. Muito alta vulnerabilidade: presente nas vertentes côncavas, com declividades superiores a 20%, no domínio das vertentes convexas e retilíneas, com declividades de 10 a acima de 20%, solos rasos (associação Neossolos Regolíticos), vegetação de gramínea (braquiária) e uso da terra intensivo pela pastagem.

Baseada na primeira etapa da complexidade de Morin (2003, p. 124, grifo do autor), em que “[...] a tapeçaria é mais que a soma dos fios que a constituem. *Um todo é mais do que a soma das partes que o constituem*”, o mapa de vulnerabilidade ambiental é mais que o resultado da somatória das variáveis, e sim a combinação dos elementos considerados relevantes no desenvolvimento de manifestações erosivas lineares na área de estudo.

Ademais, a partir do pensamento da complexidade, em que:

[...] *complexus* é o que está junto; é o tecido formado por diferentes fios que se transformaram numa só coisa. Isto é, tudo isso se entrecruza, tudo se entrelaça para formar a unidade da complexidade; porém, a unidade do *complexus* não destrói a variedade e a diversidade das complexidades que o teceram. (MORIN, 2010, p. 188, grifo do autor).

Nessa perspectiva, o mapa de vulnerabilidade ambiental, produto da inter-relação dos mapas temáticos, não desfaz a variedade e a diversidade dos elementos – geomorfologia, declividade, morfologia do relevo, solos, uso da terra e cobertura vegetal – que o constitui.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das considerações realizadas, o presente artigo objetivou abordar o Geoprocessamento e os Sistemas de Informação Geográfica, sobretudo, as técnicas de inferência *booleana* e *fuzzy*, na concepção do pensamento da complexidade.

Conforme exposto, a inferência *fuzzy* estabelece relações com o pensamento de pesquisadores na compreensão dos fenômenos, visto que tratam com a incerteza dentro de um contexto organizado. Porém, em restrições impostas pela legislação, o conjunto *booleano* é uma opção apropriada a ser aplicada, onde as respostas são binárias, não existindo, portanto, a condição talvez.

Ao possuir como embasamento teórico o pensamento da complexidade, em que o todo é mais do que a soma das partes e a partir da lógica *fuzzy* ou nebulosa, especificamente, a combinação de dados proposta pelo Processo Analítico Hierárquico, foi elaborado o mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) do município de Presidente Prudente-SP na escala 1:25.000.

Dessa forma, o emprego da técnica foi considerado adequado, pois proporcionou a integração das evidências e qualidades no documento cartográfico resultante.

Tendo em vista compreender e buscar alternativas para os atuais problemas ambientais, as representações cartográficas podem ser utilizadas como ferramentas na análise das dinâmicas das paisagens e no processo de tomada de decisões por especialistas e estudiosos, tanto no âmbito geográfico, como em outras ciências.

6. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

REFERÊNCIAS

BURROUGH, P. A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. **Journal of Soil Science**, v. 40, p. 477-492, sep. 1989.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 2-6.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; ALMEIDA FILHO, R.; BÖNISCH, S.

Técnicas de inferência geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 241-288.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; MITSUO II, F. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, New York, v. 20, n. 3, p. 395-403, may./jun. 1996.

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Raster procedures for multicriteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 5, p. 539-547, may. 1995.

MELO, R. M.; MELO, I. D. F.; ALBUQUERQUE JÚNIOR, E. C. Proposição de metodologia baseada em análise multicriterial (AHP) para avaliação de níveis de vulnerabilidade ambiental no estuário do Rio Formoso, PE. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (SIMGEO), 2010, Recife. **Anais...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2010. p. 1-9.

MOREIRA, F. R. S. **Uso e avaliação de técnicas de integração e análise espacial de dados em pesquisa mineral aplicadas ao planalto de Poços de Caldas**. 2001. 164 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MOREIRA, F. R. S.; ALMEIDA FILHO, R.; CÂMARA, G. Aplicação da Abordagem da Importação Semântica (IS) para caracterização de contatos geológicos. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 283-290.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003. 177 p.

MORIN, E. **Ciência com consciência**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 344 p.

MORIN, E.; LE MOIGNE, J.-L. **A inteligência da complexidade**. São Paulo: Peirópolis, 2000.

PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). **Rev. do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 23, p. 4-26, 2012.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208 p.

SAATY, T. L. **Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process**. Pittsburgh: RWS Publications, 1992.

SILVA, D. M. R. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais**. 2007. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SUERTEGARAY, D. M. A. Ambiência e pensamento complexo: resignific(ação) da geografia. In: SILVA, A. A. D.; GALENO, A. (Orgs.). **Geografia: ciência do complexus: ensaios transdisciplinares**. Porto Alegre: Sulina, 2004. p. 181-208.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977. 91 p.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**. 1965. v. 8, p. 338-353.



Recebido para publicação em março de 2016
Aprovado para publicação em abril de 2016