

Lógica *fuzzy* aplicada a modelagem da vulnerabilidade ambiental: análise dos operadores *fuzzy*

Santos, S. O.¹ Lobão, J. S. B.²

Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil ^{1,2}
sandeoliveira@live.com¹
juci.lobao@gmail.com²

Abstract. Fuzzy logic has been very useful in environmental studies, especially for modeling, by an ability to admit degrees of uncertainty to elements under analysis, not just the yes or no, but also the perhaps. In this logic the operator is the element that selects the targets, is responsible for the possibilities of combining variables involved in the elaboration of a model. One can find the level of restriction of the result, where only one evidence may suffice to answer or problem, or when more evidence is needed (more restrictive). In order to analyze the differences between 3 operators in the elaboration of a model of vulnerability to soil erosion using fuzzy logic, 5 tests of vulnerability models were created using it. The analysis of the results, from the tests performed with the different operators, showed significant differences between them. You get pessimistic and optimistic scenarios for an area of equality. The product generated by operator E showed a restrictive result. In the operator or it has shown less restrictive and formulated a more pessimistic scenario considering a smaller number of evidences for the vulnerability. The operator Range of different results to modify the value of exponent "g" in 3, 5, 7 and 9. In Gamma 9 the best result was found. It has been found that as areas most susceptible to greater erosion action are in places that combine young soils, pasture areas and on steeper slopes. In this way each operator presents characteristics that can be explored from the dependent or the objective of the researcher.

Palavras Chave: fuzzy operators, fuzzy logic, models, vulnerability, Operadores *fuzzy*, Logica *fuzzy*, Modelos, vulnerabilidade

1. Introdução

As geotecnologias ganharam nos últimos anos grande valor no mercado de trabalho e no meio acadêmico. A grande diversidade de resultados obtidos por meio da combinação de dados e informações diversas, a maior velocidade para se obter resultados e as possibilidades de comparação entre o real e modelos da realidade são algumas das qualidades desta tecnologia. Tendo em vista o objeto de estudo da geografia, tão amplo e complexo, o uso das geotecnologias para os estudos geográficos, principalmente os ambientais, são cada vez mais recorrentes, sobretudo para a elaboração de modelos. Os modelos, que tem como principal relevância o fato de tornarem observável fenômenos em diferentes escalas, são, segundo Christofletti (1999, p.22) "necessários por construírem pontes entre os níveis da observação e as proposições teóricas" E, sendo os sistemas reais tão complexos, examinados por uma vasta gama de teorias que rendem inúmeras páginas, os modelos surgem como uma forma sintetizadora e pouco excludente de expor determinada situação, bem como as relações entre as variáveis que o envolvem. Dentre os estudos ambientais de grande relevância social, acadêmica e econômica, os que buscam discutir a qualidade e a situação ambiental dos solos são destaque no meio geográfico. Diversos autores discorram sobre a vulnerabilidade em regiões secas, a exemplo de Tricart. Contudo, mesmo em lugares cujas características climáticas conduzem a um meio ecodinamicamente estável, regiões úmidas, pode – se observar e analisar as peculiaridades que podem causar danos ambientais. A pouca diversidade de estudos em áreas úmidas faz de estudos como este algo notório. Considerando o exposto é importante destacar algumas características da área de estudo. Porto Seguro e Santa Cruz Cabralia passou ao longo do tempo por grandes mudanças em sua organização espacial. Em um período de 24 anos, entre 1987 e 2011, os municípios perderam cerca de 50 mil hectares de vegetação e grande parte perdeu densidade. Vastas áreas de pastagens e plantios de eucaliptos surgiram em seu lugar. Toda a alteração sofrida pela vegetação produziu impactos diretos aos solos, pois ela é a sua camada de proteção

contra os efeitos dos agentes do clima. Entende-se que a ação humana acabou por acelerar os processos erosivos dos solos, tornando-os mais frágeis. Para saber como tais mudanças afetaram a área de estudo, buscou-se elaborar um modelo de vulnerabilidade ambiental à erosão dos solos considerando a dinâmica do meio e suas variáveis ambientais e humanas de forma sistêmica. Aplicou-se a metodologia adaptada de Lobão (2013) e adotou-se o conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), fundamentado no balanço morfogênese/pedogênese. Adotou-se a lógica *fuzzy* para criar o modelo, pois, esta pode possibilitar resultados menos severos. Para obter o melhor resultado foram testados operadores diferentes. A escolha do operador é um momento crucial para um trabalho deste gênero. Ele é o elemento que seleciona os alvos, ele é responsável pelas possibilidades de combinação entre as variáveis. A saída do dado após a ponderação das variáveis é determinada de uma forma diferenciada para cada tipo de operador usado. Tendo isto em vista este trabalho tem como objetivo analisar os resultados obtidos para cada operador *fuzzy* testado para mapear a vulnerabilidade de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália. Desta forma encontrasse neste estudo uma discussão do mapeamento da vulnerabilidade ambiental obtido por meio da lógica *fuzzy* e as diferenças entre cada operador testado a fim de identificar o mais adequado a realidade da área de estudo.

2. Uso De Geotecnologias Para Elaboração De Cartas De Vulnerabilidade: *Fuzzy*

As geotecnologias aplicadas para as pesquisas dos sistemas ambientais, há maior relevância devido possibilidade de realizar análises espaciais, característica fundamental dos SIGs. Elas possibilitaram um aumento significativo na produção científica, com grande quantidade de novas informações geradas por aceleraram o processo de operação e análises, bem como por torna-las mais eficazes. O que significa uma potencialização dos estudos geográficos, uma vez que seus estudos são, direta ou indiretamente, especializados. Elas oferecem, portanto, uma proposta metodológica para a realização de pesquisas (LOBÃO; SILVA, 2013).

Essa proposta metodológica envolve o uso de várias ferramentas que permitem a sistematização de grande quantidade de informações em meio virtual, criar modelos da realidade, a partir da integração de informações, dentre tantas possibilidade. Isso permite dinamizar as análises e melhorar as possibilidade de explorar os resultados obtidos em pesquisas. Elas permitem o cruzamento de informações de várias formas. Ao sobrepor mapas diferentes em um *later* já é possível realizar várias análises. Isso é facilitado quando os arquivos são formados por elementos diferentes, como linhas, pontos e polígonos. Contudo, quando se trata de polígonos, as análises tornam-se mais difíceis. A álgebra de mapas permite cruzar essas informações e gerar novos dados. Ela consiste em manipular matematicamente os atributos pertencentes aos mapas para obter um novo produto, ao gerar novos valores para cada atributo. Para a elaboração de cartas de vulnerabilidade a álgebra de mapas é a melhor ferramenta. A partir dela é possível integrar matematicamente as variáveis (planos de informação) presentes em um conjunto de mapas e obter uma nova informação, um resultado composto. E por fim, criar um modelo da realidade (MIRANDA, 2005). Existem diferentes formas matemática de cruzar mapas, seja com operações matemáticas simples ou seguindo princípios lógicos. Entre eles destacam-se a lógica booleana e a lógica *fuzzy*. A escolha da operação matemática que dará origem ao modelo é fundamental para o sucesso dele. Assim deve-se considerar o que interessa analisar, quais as características do objeto de análise e quais resultados são desejados para determinar qual o melhor princípio lógico para tal. Entre os principais lógicas, destacam-se em estudos ambientais a lógica booleana e a lógica *fuzzy*.

A lógica booleana envolve o uso de valores binários, ou seja, usa apenas dois valores. A pertinência é expressada por 1 ou 0, o que exclui outras possibilidades. O produto obtido através da lógica booleana é rígido, cria um cenário que é ou verdadeiro ou falso, é ou não é. Sua vantagem está presente no fato de essa lógica possuir uma simplicidade e facilidade de aplicação.

Contudo, deve-se evitar o uso de uma álgebra determinística, ou pelo menos, considerar seu uso, pois nem sempre a melhor resposta reside em apenas duas opções (SILVA, 2003; MIRANDA, 2005). A lógica booleana é uma lógica muito adequada quando se busca um resultado onde deseja-se, por exemplo, excluir todas as informações que não interessam ao pesquisador. Por exemplo, ao buscar quantificar a vegetação de um determinado lugar. Com isso interessa apenas dizer onde tem vegetação e onde não tem vegetação. Neste caso não interessa saber os tipos de vegetação, de solos, de uso da terra. Busca-se um resultado rígido e para isso a lógica booleana é apropriada. Ela pode ser aplicada através de quatro operadores: AND (interseção), NOT (exclusão), XOR (Inclusão) OR (complementar). Contudo, no ambiente não existe severidade nos sistemas que os formam, pois são complexos demais para uma representação tão simples. Assim, para criar um modelo de algo de sistema é necessário buscar algo que melhor admita seu caráter integrativo e dinâmico, nesse contexto a lógica difusa surge como opção mais adequada.

A lógica *fuzzy* está associada a teoria dos conjuntos e portanto trata de questões de pertinência dos elementos, assim ela tem como grande característica admitir graus de incerteza, não somente o sim e o não, mas também o talvez. Ela permite pertinências parciais entre os valores rígidos do verdadeiro ou falso. Com isso ela se aproxima do raciocínio humano. A forma humana de pensar sempre admite impressões incertas sobre alguns fenômenos. Assim ao perguntar se um ambiente está frio ou quente as respostas podem variar muito. Podendo obter respostas como: muito frio, frio, pouco frio, pouco quente, quente, muito quente, etc. Essa lógica oferece como grande destaque a possibilidade de solucionar problemas cujas respostas são incertas e portanto apresenta menos chances de erros (LOBÃO, SILVA, 2013; SILVA, 2003; MIRANDA, 2005).

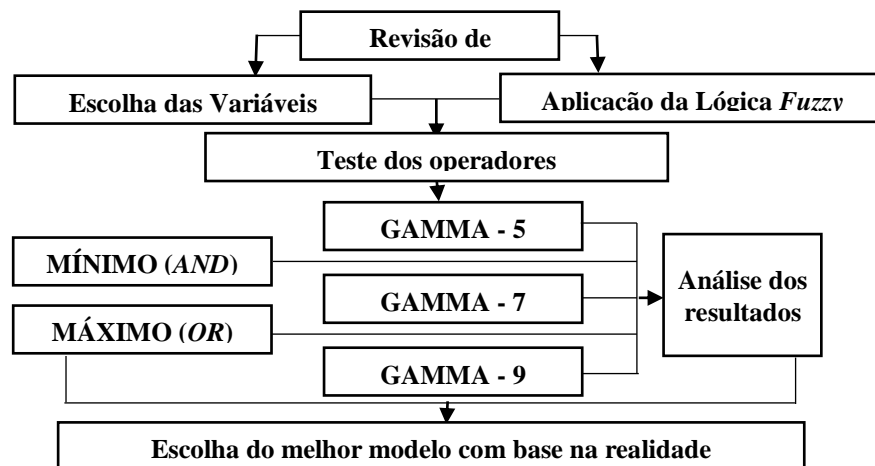
Para rodar a modelagem da vulnerabilidade à erosão dos solos, optou-se por utilizar a lógica *fuzzy*, pois ela possibilita resultados menos rígidos e intermediários entre o verdadeiro ou falso. Cada classe de solo responde aos efeitos causados pelos elementos com os quais interage de maneira diferente e por tanto não seria adequado utilizar uma lógica rígida que criasse cenários rigorosos. Para a construção do modelo de vulnerabilidade foram selecionadas as variáveis que julgou-se mais relevantes, considerando os fatores que provocam a erosão dos solos. Assim foram selecionadas as variáveis que agregam de alguma forma, positiva ou negativa, referências para esse processo baseado no balanço morfogênese/pedogênese e nos critérios estabelecidos. Onde: **Solos** (O solo é o agente passivo dos efeitos produzidos pelas ações do clima e do tempo e é sobre ele que os processos erosivos incidem); **Declividade** (Quanto maior o grau de inclinação do terreno maior a velocidade e a força da ação da chuva sobre o solo, acelerando o movimento das massas e o cisalhamento das partículas do solo); **Uso e cobertura da terra** (As diversas formas de uso da terra alteram a cobertura vegetal, diminuindo a sua densidade ou retirando toda ela, deixando o solo desnudo); **Normalized Difference Vegetation Index- NVDI** (indica a presença e ausência de cobertura vegetal, revela, qualitativamente, restrições hídricas, demonstrando a maior ou menor presença de biomassa verde que ameniza o impacto das chuvas sobre o solo).

Tendo sido feitas as considerações sobre as variáveis que integram o modelo, com base em critérios mencionados determinou-se os parâmetros (Balanço pedogênese/morfogênese) de análise e ponderação dos elementos que integram as mesmas. Em que os critérios e parâmetros são respectivamente: **Solos** (Profundidade, presença de matéria orgânica, permeabilidade / Quanto mais profundo, maior quantidade de matéria orgânica e melhor permeabilidade, favorecerá a pedogênese para o inverso favorecerá morfogênese); **Declividade** (Grau de inclinação / Quanto mais plano for o terreno, favorecerá a pedogênese, para o inverso favorecerá morfogênese); **Uso e cobertura da terra** (Tipo de uso e cobertura vegetal / Quanto menor a cobertura vegetal e maior impacto dos usos antrópicos maior morfogênese); **Normalized Difference Vegetation Index- NVDI** (Densidade da biomassa verde / Quanto mais densa for a

biomassa verde, menor é restrição hídrica, que favorecerá a pedogênese, para o inverso favorecerá morfogênese).

Os elementos presentes em cada uma dessas variáveis, tais como: classes de solo, forma de uso da terra, densidade de cobertura vegetal, grau de inclinação do terreno, foram ponderadas considerando a sua participação para tornar o solo mais ou menos vulnerável. Assim, obedecendo os princípios da lógica fuzzy, para mapear elemento de x em um intervalo de $[0,1]$, para qual é necessário usar uma função de pertinência $\mu_Z(x)$ que indica o grau de compatibilidade entre x e o conceito expresso por Z . Assim onde a função $\mu_Z(x) = 1$ significa que x é completamente compatível com Z , e $\mu_Z(x) = 0$ significa que x é completamente incompatível com Z . Contudo, a lógica *fuzzy* permite os graus de incerteza, dessa forma X pode ser parcialmente compatível com Z , assim a função $0 < \mu_Z(x) < 1$ mostra que x é parcialmente compatível com Z . Com base nisto cada variável e seu conjunto de elementos foram fuzzificadas para a criação dos conjuntos *fuzzy*, representados por um par ordenado $(x, \mu(x))$, um conjunto onde uma função de pertinência associa um valor $\mu(x)$ para cada valor x (LOBÃO; SILVA, 2013). Assim desenvolveu-se a metodologia deste trabalho sintetizada no fluxograma 1.

Fluxograma 1: Procedimentos Metodológicos para criação de um modelo de vulnerabilidade



Após aplicar a metodologia para criar o modelo foram testados 5 operadores e analisados os resultados, contrapondo os resultados obtidos para cada operador com a teoria e comparando com a realidade vista em campo.

3. Lógica Fuzzy Aplicada A Modelagem Da Vulnerabilidade Ambiental: Análise Dos Resultados Por Operador

Os modelos criados em ambiente SIG apresentam um conjunto de dados de entrada, aqui as variáveis do sistema ambiental, e através de alguma função aplicada geram, posteriormente, um produto de saída, o modelo de vulnerabilidade. Para que o produto de saída tenha sucesso é necessário ter conhecimento do processo pelo qual o dado passa após entrar no sistema e sair na forma de um novo dado. Assim a escolha do operador é um dos momentos mais importantes para um trabalho deste gênero. Ele é o elemento que seleciona os alvos, ele é o responsável pelas possibilidades de combinação entre as variáveis. A saída do dado após a ponderação das variáveis é determinada de uma forma diferenciada para cada tipo de operador usado. Desta forma cabe testar e analisar os possíveis operadores que estão à disposição do pesquisador. A lógica *fuzzy* pode ser aplicada usando diversos operadores, dentre os quais os de Bonham-Carter (1994), são os mais usados (quadro 1)

Quadro 1 – Operadores *fuzzy*

<i>Fuzzy</i>	Características
Interseção <i>AND</i> ou mínimo	Com esse operador, o valor de saída dos membros <i>fuzzy</i> será sempre o menor que o valor dos membros <i>fuzzy</i> de entrada, logo, é o mais conservador, sendo indicado para situações altamente restritivas (cenário otimista), nas quais duas ou mais evidências são estritamente necessárias para satisfazer uma hipótese.
União <i>OR</i> ou máximo	Com esse operador, o valor de saída dos membros <i>fuzzy</i> será o maior valor de entrada dos membros <i>fuzzy</i> , logo, é mais abrangente, sendo indicado para situações onde qualquer evidência deve ser considerada (cenário pessimista), onde a ocorrência de apenas uma evidência é suficiente para satisfazer uma hipótese.
Operador <i>Gamma</i>	Dependo do valor do “g” utilizado, pode-se produzir valores de saída que garantam certa flexibilidade entre a tendência de maximização da soma algébrica <i>fuzzy</i> e de minimização do produto algébrico <i>fuzzy</i> .

Fonte: Lobão e Silva, 2013

O operador é o elemento que seleciona os alvos, ele é responsável pelas possibilidades de combinação entre as variáveis. Eles podem determinar o nível de restrição do resultado, onde apenas uma evidência pode bastar para responder o problema (menos restritiva) ou onde será necessário um número maior de evidências (mais restritiva). A partir delas é possível obter cenários mais otimistas e mais pessimistas, mas também cenários equilibrado onde predomina a flexibilidade da análise.

A partir dos membros *fuzzy* foi realizada a modelagem da vulnerabilidade. Para encontrar o melhor resultado, foram testados os cinco operadores da lógica *fuzzy*: Soma algébrica *fuzzy*, Produto *fuzzy*, Inserção (*AND*), União (*OR*). Com o operador *gamma* pode-se obter diferentes resultados ao modificar o expoente. Dado isso os operadores podem ser entendidos da seguinte forma segundo Câmara et. al (2001):

- i. Fuzzy *AND*: A interseção significa uma sequência do conjunto é obtida através do operador *MINIMO* (*MIN*).

$$\mu = \text{MIN} (\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots)$$

Em que μ_a , μ_b , e μ_c são valores de entrada e pertinência das variáveis A, B e C. Exemplificando podemos ver que se os valores $\mu_a = 0,60$; $\mu_b = 0,25$; $\mu_c = 1,0$, o valor adotado para cada pixel presente na variável será sempre o menor, ou seja $\mu_{saída} = 0,25$.

O produto gerado pelo operador *And* mostrou um resultado bastante restritivo, ou seja, vulneráveis são apenas as áreas onde todas as variáveis envolvidas favorecem os processo morfogênicos. Os valores de vulnerabilidade tiveram, principalmente, resultados mais perto de 0. As áreas com maior grau de vulnerabilidade, onde predominam o processo morfogênico, correspondem a apenas pequenas partes do território (Figura 2). Nelas, as manchas vermelhas, mais vulneráveis, sobrepõem as áreas onde a vegetação, no NDVI, é menos densa ou ausente. Onde o índice de vegetação está variando de 0 a 0,45, a inclinação do terreno é maior que 20°, a classe de solo dos Cambissolos ou Argissolos, e o tipo de uso da terra correspondente são as áreas de pastagens. A grande restrição na escolha dos alvos cria um cenário mais otimista e, portanto, não foi considerado um modelo que correspondesse a realidade, pois sabe-se que como, visto em campo, o modelado ondulado cria condições para tornar o meio mais vulnerável à erosão, sobretudo nas áreas de vales. Segundo Câmara et. al (2001):

- ii. Fuzzy OR: A interseção significa uma sequência do conjunto é obtida através do operador MÁXIMO (MIN). Neste operador ocorre inversamente o oposto ao operador AND.

$$\mu = \text{MAX} (\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots)$$

Em que μ_a , μ_b , e μ_c são valores de entrada e pertinência das variáveis A, B e C. Exemplificando podemos ver que se os valores $\mu_a = 0,60$; $\mu_b = 0,25$; $\mu_c = 1,0$, o valor adotado para cada pixel presente na variável será sempre o maior, ou seja, $\mu_{saída} = 1,0$.

O operador *Or*, que tem como característica permitir que qualquer evidência positiva seja suficiente para comprovar uma hipótese mostrou-se menos restritivo e formulou um cenário mais pessimista (Figura 3). As áreas que apresentam menor grau de vulnerabilidade foram aquelas que obtiverem os valores baixos na composição dos membros *fuzzy*. Assim os locais onde há uma combinação entre vegetação densa, tanto no NDVI quanto no mapa de uso e cobertura, Latossolos e baixa declividade, foram considerados como menos vulnerável. As áreas onde pelo menos uma das variáveis apresentou valores mais altos, foram consideradas mais vulneráveis. A pouca restrição na escolha dos alvos, pelo operador, produziu um resultado exagerado. Existe um excesso de áreas muito vulneráveis onde a dinâmica do ambiente não condiz com o resultado e, portanto, este modelo foi descartado.

Os operadores, *Or* e *And*, ofereceram resultados muito exagerados, sempre tendendo para um lado mais otimista ou pessimista que não condizem com a realidade da área de estudo. Diferente disso, o operador *Gamma* possibilita, a depender do valor “g” usado, cria resultados onde impera uma maior flexibilidade entre as tendências dos outros operadores. Por meio dele pode-se obter maior quantidade de valores diferenciados.

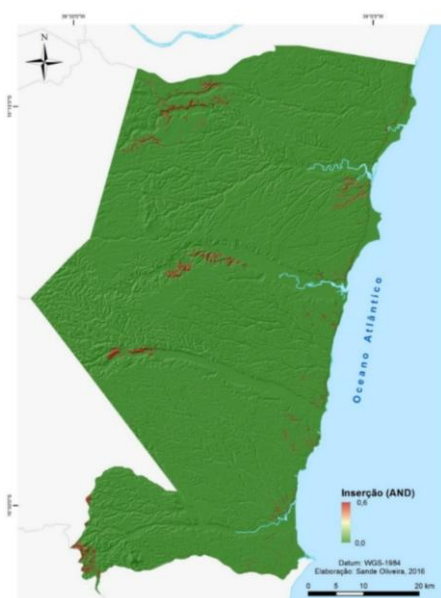


Figura 1 – Modelo de vulnerabilidade: operador fuzzy, And.

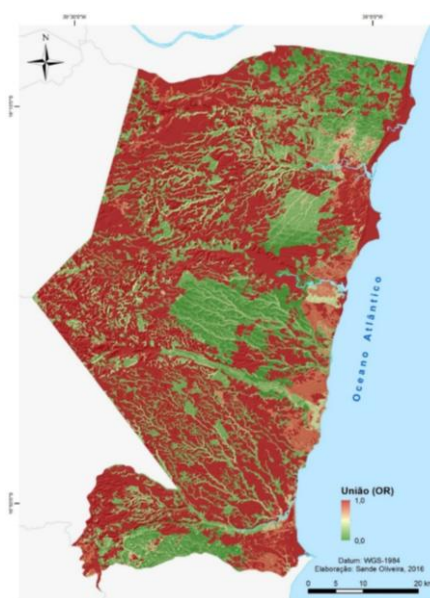


Figura 2– Modelo de vulnerabilidade: operador fuzzy, Or.

Buscando melhores resultados foram testados no *Gamma* os valores 5, 7 e 9 no valor g. Usando o *Gamma* com g igual a 5 obteve-se um cenário mais otimista, porém, com maior distribuição dos valores, flexibilizando mais o resultado. O maior valor de saída foi igual a 0,6 em que a maior quantidade de dados recebeu valores de 0,0 a 0,3 (figura 4). Já com o expoente g igual a 7 o maior valor de saída foi igual a 0,8 que fez gerar maior número de áreas mais vulneráveis (figura 3). A maior parte da área, também, recebeu valores de 0,0 a 0,3. Contudo, os locais com 0,3 a 0,5 foi maior que no *Gamma* 5.



Figura 3 – Modelo de vulnerabilidade: operador fuzzy, Gamma 7.

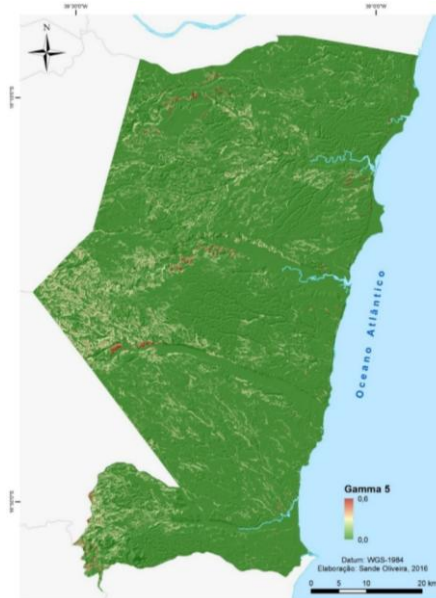


Figura 4 – Modelo de vulnerabilidade: operador fuzzy, Gamma 5.

Esses dois testes ainda apresentaram insuficiente coerência com a realidade. Viu-se que em locais com acentuada declividade, sem cobertura vegetal e solos rasos tiveram valores de vulnerabilidade baixos. No *Gamma 9* encontrou-se o melhor resultado (Figura 5). Nele verificou-se que as áreas mais susceptíveis a sofrer maior ação da erosão estão em lugares que combinam solos menos maduros, áreas de pastagens e nos declives mais marcados. Dessa forma este foi o escolhido para elaborar o modelo de vulnerabilidade.

O mapa de vulnerabilidade criado a partir do operador Gamma 0,9 teve como resultado uma grande concentração de áreas com vulnerabilidade moderadamente alta, está foi a segunda maior classe. A classe que predomina é a de baixa vulnerabilidade que ocupa 3.217 km² (tabela 1).

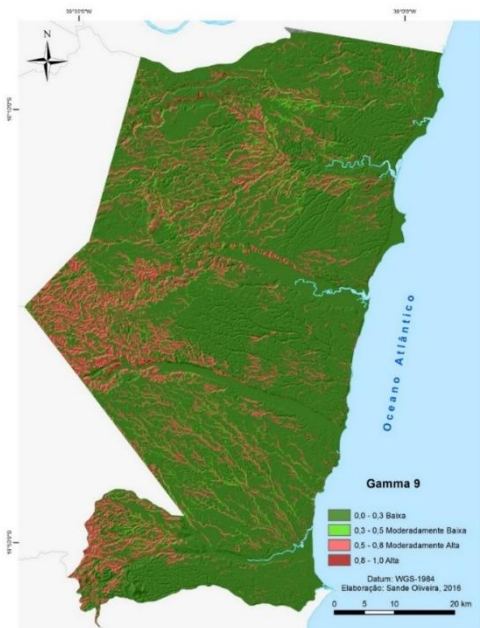


Figura 5 – Modelo de vulnerabilidade: operador fuzzy, Gamma9

Tabela 1 – Área das classe por graus de vulnerabilidade

Classes de vulnerabilidade	Área em km ²
Baixa	3.217
Moderadamente Baixa	123
Moderadamente Alta	594
Alta	5

Elaboração: Sande Oliveira

Significa que mais 80% da área de estudo encontra-se em equilíbrio. Considerando que a área de estudo está dentro do domínio morfoclimático dos Mares de Morros, e, portanto, é uma zona úmida e isso favorece a presença de florestas, que confere maior grau de estabilidade, como destaca Tricart (1977), diferente das áreas semiáridas que o autor diz serem naturalmente mais

vulnerável que áreas úmidas. Portanto, quanto mais densa for o estrato vegetal, maior será proteção para o solo, e mais estável.

4. Considerações Finais

A partir do que foi exposto pode-se formular a noção da vulnerabilidade dos meios para direcionar ações de preservação, conservação e/ou limites de uso e ocupação. Vale ressaltar aqui que para a elaboração do modelo de vulnerabilidade à erosão dos solos foram selecionadas as quatro mais importantes para analisar o sistema solos, segundo Galetti (1973). São elas a declividade, os solos, a vegetação e o uso da terra. Sendo a noção de vulnerabilidade algo não rígido, não podendo dizer que isto é 100% vulnerável ou perfeitamente estável, podendo a vulnerabilidade ser baixa, moderadamente baixa, moderadamente alta e alta, etc., e sobretudo devido a diversidade de elementos que compõem a paisagem.

A flexibilidade da lógica *fuzzy* foi fundamental para que os resultados não fossem deterministas. Os níveis de vulnerabilidade podem ser reclassificados em outros graus de vulnerabilidade, possibilitando criar hierarquias mais detalhadas para o problema, a partir do objetivo. Assim outras escalas podem ser testadas, elaborando cenários com maior nível de detalhamento.

Dentre os operadores testados o Gamma 0,9, teve um resultado adequado, é possível fazer ligações entre os atributos das variáveis e, numa leitura teórica, observado sua importância para a vulnerabilidade e relaciona-los com os graus de vulnerabilidade apontados no modelo.

Referências

- CÂMARA, Gilberto; MOREIRA, Fábio Roque; BARBOSA, Cláudio; ALMEIDA FILHO, Raimundo; BÖNISCH, Simone. Técnicas de Inferência Geográfica. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS JR., Clodoveu Augusto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (ed). Introdução à Ciência da Geoinformação. Cap. 9. Livro on-line. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001c. Disponível em: Atualizado em 04/06/2001.
- CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: 1º ed. Edgard Blucher, 1999
- CREPANI *et. al.* Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. INPE - São José dos Campos: 2001
- LOBÃO, J. S. B. Análise socioambiental do município de Morro do Chapéu-Ba: baseada em geotecnologias. Dissertação de mestrado - pós graduação em geografia Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2006
- LOBÃO, J. S. B; SILVA, B. C. M. N. Análise socioeconômica na região semiárida da Bahia: Geoprocessamento como subsidio ao ordenamento territorial. Feira de Santana: UEFS editora, 2013.
- MIRANDA, J. I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. Brasília, EMBRAPA, 2005.
- MOREIRA, F. R; CÂMARA, G; FILHO, R. A. Técnicas de Suporte a Decisão para Modelagem Geográfica por Álgebra mapas. Relatório Técnico Maio – 2001
- SANTOS S. O.; LOBÃO J. S. B.; Mudanças no uso e ocupação em terras indígenas pataxós para avaliação de conflitos: uma abordagem geotecnologica. Relatório de iniciação científica. Feira de Santana/UEFS. 2013.
- SILVA, A. B. Sistemas de Informações Georreferenciadas: Conceitos e Fundamentos. São Paulo, Unicamp, 1999.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE. 1977