

UMA DISCUSSÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA SOBRE FRAGILIDADE AMBIENTAL

Idevan Gusmão Soares

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências.
i203560@dac.unicamp.br

Regina Célia de Oliveira

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências.
regina5@unicamp.br

RESUMO

O trabalho tem o objetivo de apresentar as definições de fragilidade ambiental e as contribuições metodológicas de Ross (1994) e Spörl (2007). Para alcançar o objetivo realizou-se revisão bibliográfica. A fragilidade ambiental ocorre pela desestabilização do equilíbrio dinâmico do ambiente, sendo a fragilidade um aspecto intrínseco do meio. A metodologia de Ross (1994) baseia-se na Ecodinâmica de Tricart (1977) que diferenciou três tipos de meios morfodinâmicos, a saber: estáveis, intergrades e instáveis. O meio instável Ross (1994) nomeou de Instabilidade Emergente e atribuiu diferentes graus, desde instabilidade muito fraca a muito forte. Para as unidades estáveis, que apesar de estarem em equilíbrio dinâmico, apresentam instabilidade potencial qualitativamente previsível face as suas características naturais e a possível inserção antrópica. Deste modo foram hierarquizadas de muito fraca a muito forte. Spörl (2007) elabora um modelo de fragilidade ambiental com base em Redes Neurais Artificiais-RNAs a qual utiliza especialistas e programas para coletar informações. Estes dados são aplicados nos treinamentos das RNAs para que a rede capture o padrão de avaliação de cada um dos especialistas. Com estes padrões reconhecidos as RNAs fornecem respostas para situações onde seja requerida a análise da fragilidade.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais. Ecodinâmica. Metodologias.

A THEORETICAL-METHODOLOGICAL DISCUSSION ON ENVIRONMENTAL FRAGILITY

ABSTRACT

The work aims to present the definitions of environmental fragility and the methodological contributions of Ross (1994) and Spörl (2007). To achieve the objective, a bibliographic review was carried out. Environmental fragility occurs by destabilizing the dynamic balance of the environment, with fragility being an intrinsic aspect of the environment. Ross' (1994) methodology is based on Tricart's Ecodynamics (1977) who differentiated three types of morphodynamic environments, namely: stable, intergrades and unstable. The unstable environment Ross (1994) named Emergent Instability and assigned different degrees, from very weak to very strong instability. For stable units, which despite being in dynamic equilibrium, present qualitatively predictable potential instability given their natural characteristics and possible anthropic insertion. In this way, they were hierarchized from very weak to very strong. Spörl (2007) elaborates a model of environmental fragility based on Artificial Neural Networks-ANNs which uses specialists and programs to collect information.

These data are applied in the training of the ANNs so that the network captures the evaluation standard of each of the specialists. With these recognized standards, ANNs provide answers to situations where frailty analysis is required.

Keywords: Artificial Neural Networks. Ecodynamics. Methodologies.

INTRODUÇÃO

O estudo sobre a fragilidade ambiental tem sido amplamente realizado em pesquisas sob o viés ambiental. Os resultados desses estudos têm proporcionado importante subsídio para o planejamento ambiental e na gestão do território. Os geógrafos nesse contexto têm se destacado nas abordagens de fragilidade. A exemplo, dos estudos de Ross (1994); Crepani et al. (2001); Kawakubo et al. (2005); Spörl (2007); Tamanini (2008); Garofalo (2013), dentre outros.

Os sistemas ambientais, face às intervenções humanas, apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características “genéticas”. Qualquer alteração nos componentes da natureza, compromete a funcionalidade do sistema, quebrando o seu equilíbrio dinâmico. Diante disto é essencial que se façam inserções antrópicas compatíveis com a potencialidade dos recursos e com a fragilidade dos ambientes naturais, o que torna cada vez mais urgente o planejamento físico territorial não apenas sob a perspectiva econômica-social, mas também ambiental.

Os estudos relativos à fragilidade dos ambientes são importantes para o planejamento ambiental, pois se trata de um instrumento cuja finalidade é identificar e analisar os ambientes em função de seus diferentes níveis de susceptibilidade. Proporcionando assim, uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (SPÖRL, 2007).

O mapa de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento da fragilidade possibilita avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições (KAWAKUBO et al., 2005).

Existe uma diversidade de metodologias para construção de modelos de fragilidade ambiental. Dentre elas, as que se baseiam nos princípios da Ecodinâmica

de Tricart (1977), a exemplo das propostas de Ross (1994) e Crepani et al. (2001); outros modelos ancorados no processo analítico hierárquico (AHP) identificado nos estudos de Gimenes e Augusto Filho (2013). Outros trabalhos como de Kawakubo et al. (2005) recorrem a métodos de combinação de mapas (álgebra de campo) como o booleano e a tabela de dupla entrada para elaboração do mapa de fragilidade.

Ainda em relação as pesquisas com enfoque na modelagem da fragilidade ambiental, pode-se destacar a contribuição metodológica identificada na dissertação de Garofalo (2013) que atribuiu pesos à variáveis geoambientais de sua área de estudo, Alta Bacia dos Rios Piracicaba e Sapucaí Mirim – APA Fernão Dias – MG, a partir de teste Estatístico Kolmogorov-Smirnov.

Diante do exposto, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar as definições de fragilidade ambiental e as contribuições metodológicas propostas por Ross (1994) e Spörl (2007) que recorre as Redes Neurais Artificiais - RNA como modelo para os estudos de fragilidade.

METODOLOGIA

Para que o objetivo proposto fosse alcançado, iniciou-se o desenvolvimento do trabalho com a aquisição de referencial teórico abordando a temática, realizando-se para esse fim, pesquisas bibliográficas em artigos científicos, livros, teses, dissertações e trabalhos completos publicados em anais de eventos.

A revisão de literatura foi realizada nos anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, repositório de teses e dissertações da Universidade Estadual Paulista, Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal do Paraná. O objetivo desta revisão foi identificar as principais definições e metodologias utilizadas na modelagem da fragilidade ambiental. Após esta fase elegeu-se a proposta de Ross (1994) e Spörl (2007) para descrição metodológica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Spörl (2007), a fragilidade ambiental relaciona-se à susceptibilidade do sistema de sofrer intervenções, ou de ser alterado. Quando é quebrado o equilíbrio dinâmico o sistema pode entrar em colapso, passando para uma situação

de risco. O desequilíbrio do sistema pode ter como indutores tanto processos naturais quanto ações antrópicas.

Entende-se por fragilidade ambiental o grau de susceptibilidade a qualquer tipo de dano, ou seja, refere-se aos ambientes em situação de risco. Dentre os fenômenos de risco mais frequentes destacam-se as erosões, os deslizamentos de encostas, o assoreamento de cursos de água e as inundações (SPÖRL, 2007).

Gimenes e Augusto Filho (2013), trazem em sua obra algumas definições de fragilidade na ótica de autores como Ratcliffe (1971); Smith e Theberge (1986); Goldsmith (1983).

Ratcliffe (1971) descreve fragilidade como uma medida da sensibilidade intrínseca de um ecossistema às pressões ambientais (especialmente mudanças de gestão), combinada com a exposição à ameaça que poderia perturbar o equilíbrio existente. Smith e Theberge (1986) definem fragilidade como o oposto à estabilidade, sendo estabilidade a velocidade com que um sistema retorna ao equilíbrio após uma perturbação. Os autores ainda destacam que a fragilidade pode ser natural ou induzida pelo ser humano e que a natural pode ser devida a fatores internos ou externos (GIMENES; AUGUSTO FILHO, 2013, p.6564).

Goldsmith (1983 apud GIMENES e AUGUSTO FILHO, 2013, p.6564)

Define uma área frágil como uma área com elevada sensibilidade inerente, como uma área alagada, uma duna costeira e regiões montanhosas, que são potencialmente instáveis. É feita ainda a distinção entre fragilidade e vulnerabilidade, assumindo que uma área é inerentemente frágil, mas é vulnerável a uma ameaça externa como mudança no uso do solo.

A partir de revisões bibliográficas sobre o termo fragilidade na literatura científica internacional, Gimenes e Augusto Filho (2013) identificaram um consenso que a fragilidade de um ambiente se traduz pela desestabilização de um equilíbrio dinâmico preexistente. As divergências entre as definições se encontram nos fatores que causam este desequilíbrio.

Conforme Gimenes e Augusto Filho (2013, p.6565), “Alguns autores consideram que a fragilidade é devida a fatores internos e externos, enquanto outros consideram que é apenas devido a fatores internos, sendo uma propriedade intrínseca do sistema”.

A fragilidade ambiental para Gimenes e Augusto Filho (2013, p.6565) está relacionada a “desestabilização do equilíbrio dinâmico existente no ambiente, e que esta é uma característica intrínseca do meio ambiente”.

Tamanini (2008), por sua vez, entende que a fragilidade ambiental refere-se à suscetibilidade do meio ambiente a qualquer tipo de dano, inclusive à poluição. Daí a definição de ecossistemas ou áreas frágeis como àqueles que, por suas características, são particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência e pouca capacidade de recuperação.

Miyazaki (2014) também compreende a fragilidade como uma propriedade intrínseca do meio ambiente. A autora entende este conceito como algo que seja passível de quebrar, romper, de partir, de se tornar instável e relacionando-o com os estudos geográfico-geomorfológicos é possível perceber que a fragilidade está diretamente ligada aos ambientes naturais e ao estado em que se encontra a dinâmica dos processos naturais, por isso, apresentam características particulares dos componentes que os compõem (relevo, as rochas, o clima e os solos), e que os classificam como frágeis.

A fragilidade pensada no ambiente natural pode apresentar características que os classificam como frágeis. Nesta perspectiva, um dos componentes naturais que podem contribuir para a identificação do nível de fragilidade é o relevo (MIYAZAKI, 2014). Desta forma, a fragilidade do ambiente está vinculada a análise das características dos componentes naturais.

Miyazaki (2014) com base em suas pesquisas e entendimento sobre fragilidade e vulnerabilidade conclui que o estudo sobre a fragilidade ambiental é de extrema importância para as pesquisas de vulnerabilidade, pois permite que os componentes naturais sejam caracterizados e analisados em conjunto para averiguar a ocorrência de ambientes com alta, média ou baixa fragilidade.

Diante do exposto, Miyazaki (2014, p.105) esclarece:

Os componentes naturais (morfologias do relevo, a declividade das vertentes, os tipos de solos, os tipos de cursos d'água, a profundidade do lençol ou aquífero freático, as rochas e os minerais), podem apresentar certa fragilidade "natural", como por exemplo, um relevo que é facilmente esculpido, devido as suas características estruturais e as condições naturais (solo, clima, vegetação). E esse mesmo relevo ao sofrer determinadas intervenções da sociedade ao ser apropriado e ocupado podem acelerar os processos morfodinâmicos e deixar a população ocupantes vulnerável a movimentos de massa, erosões urbanas e alagamentos.

Essa susceptibilidade natural do ambiente aos danos, tratada também como fragilidade, diz respeito à suscetibilidade natural do ambiente físico, aplicável ao

ambiente com diferentes níveis de vulnerabilidade dos seus próprios elementos constituintes do ecossistema e também da interferência humana (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA, 2017).

A fragilidade dos ambientes naturais é maior ou menor em função das intervenções humanas. Neste viés, Ross (1994) afirma que os ambientes naturais mostram-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento que as sociedades humanas passaram a intervir cada vez mais na exploração de recursos naturais.

Existem diversos estudos sobre fragilidade ambiental, dentre os autores que trabalham nesta perspectiva, destaca-se Ross (1994). Ele a define a partir dos conceitos de Unidades Ecodinâmicas, preconizadas por Tricart (1977), sendo exemplificadas a partir de meios morfodinâmicos, como aqueles que sofreram intervenções antrópicas e modificaram intensamente os ambientes naturais e aqueles representados pelas características naturais do ambiente e que os deixam frágeis diante dos processos morfogenéticos.

Tricart (1977) definiu que os ambientes, quando estão em equilíbrio dinâmico são estáveis, quando em desequilíbrio são instáveis. Esses conceitos foram utilizados por Ross (1990), oportunidade que inseriu novos critérios para definir essas unidades. As Unidades Ecodinâmicas Instáveis foram definidas como sendo aquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas, enquanto as Unidades Estáveis são as que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se, portanto, em seu estado natural.

Ross (1994) ampliou o uso do conceito de Tricart (1977), estabelecendo as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente em vários graus, desde instabilidade muito fraca a muito forte. Aplicou o mesmo para as Unidades Ecodinâmicas Estáveis, que apesar de estarem em equilíbrio dinâmico, apresentam Instabilidade Potencial qualitativamente previsível face as suas características naturais e a sempre possível inserção antrópica. Deste modo as Unidades Ecodinâmicas Estáveis, apresentam-se como Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial em diferentes graus, ou seja, de muito fraca a muito forte.

Na proposta de Ross (1994) são atribuídos pesos para as classes de relevo, solos, uso da terra/cobertura vegetal e clima. Esses valores variam de 1 a 5, sendo 1 para Muito Fraca fragilidade, 2 - Fraca, 3 - Média, 4 - Forte, 5,0 - Muito Forte. Estas classes de fragilidade expressam, principalmente, a vulnerabilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso, e concentrado das águas pluviais.

No modelo de Ross (1994) a análise empírica da fragilidade é realizada a partir de produtos cartográficos temáticos adotando-se os seguintes procedimentos:

- ✓ A carta geomorfológica, juntamente com a análise genética, é um dos produtos intermediários para a construção da carta de fragilidade;
- ✓ A carta de solos utiliza os critérios de textura, plasticidade, estrutura, grau de coesão das partículas, profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais;
- ✓ A carta de uso da terra/cobertura vegetal é utilizada para avaliar o grau de proteção dos solos pela vegetação;
- ✓ No tocante ao clima, os dados mais importantes são referentes à intensidade e distribuição das chuvas.

Em relação ao relevo toma-se como referencial morfométrico a Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo desenvolvido por Ross (1992), baseadas na relação da densidade de drenagem/dimensão interfluvial média.

Para análise em escalas médias e pequenas tipo 1:50.000, 1:250.000, utiliza-se como base de informação os padrões de formas com a rugosidade topográfica ou os índices de dissecação do relevo, expressos através da Matriz dos Índices de Dissecação. Quando a análise é de maior detalhe, como escalas de 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000, utiliza-se as formas de vertentes e as classes de declividade.

Conforme a metodologia de Ross (1994) a combinação dos conjuntos arábicos entre si do tipo 1111, 1213 até 5555, é possível hierarquizar os graus de fragilidade.

Por exemplo, o conjunto numérico 1111 representa uma área com relevo de dissecação muito fraco, solos de muito fraca erodibilidade, recobertos por mata e com uma situação pluviométrica regular com volumes próximos de 1000 mm/ano. Já o conjunto numérico 5555 apresenta todas as variáveis vulneráveis à erosão. Como por exemplo, uma área com um relevo fortemente dissecado, com solos muito frágeis aos processos erosivos, desprovida de cobertura vegetal, e ainda,

com situações pluviométricas com distribuição irregular e volumes superiores a 2500 mm/ano (SPÖRL, 2007, p.79-80).

Spörl (2007, p.96-97), em sua tese de doutorado, realiza uma análise concernente a metodologia proposta por Ross (1994) e apresenta algumas conclusões que são apresentadas a seguir.

Com relação às formas de calcular a fragilidade, o modelo proposto por Ross (1994) trabalha com o agrupamento dos índices das variáveis e adota o relevo como variável principal.

A forma de cálculo para obtenção dos graus de fragilidade reflete a diferente maneira de ponderar a importância das variáveis avaliadas. No modelo de Ross (1994) a variável que representa o 1 dígito da associação numérica determina o grau de fragilidade, enquanto que as demais apenas hierarquizam nuances desta fragilidade. Deste modo, a variável relevo (1 dígito) é que determina o grau de fragilidade. Sendo assim, na proposta de Ross (1994) o relevo tem uma importância muito maior na definição dos graus de fragilidade que as demais variáveis.

O procedimento operacional analisado pode apresentar resultados de fragilidade que não refletem as características da realidade de campo. Nem sempre uma área que apresenta um relevo mais dissecado é de fato mais frágil, nem toda vez uma área de relevo plano é realmente mais estável. Pois a fragilidade depende também dos tipos de rocha, solos, uso da terra/cobertura vegetal e do regime de chuvas. Isto quer dizer que a valorização do relevo no modelo de Ross (1994) pode definir uma fragilidade muito forte para uma área muito dissecada, mas que na realidade as demais variáveis poderiam amenizar sua vulnerabilidade.

Conforme Spörl (2007), a principal dificuldade observada no modelo está relacionada à atribuição de pesos às variáveis. Estes pesos devem indicar a contribuição relativa de cada uma das variáveis na determinação do grau de fragilidade. No entanto, esta avaliação é geralmente arbitrária e subjetiva, pois é difícil avaliar o quanto cada uma destas variáveis contribui para se estabelecer o grau de fragilidade. O desconhecimento da relação entre as variáveis gera uma fonte de incerteza no resultado apresentado pelo modelo. Essa dificuldade em ajustar um modelo de maneira a conciliá-lo com os fenômenos da natureza é a principal responsável pelo comprometimento de diversos modelos ambientais.

Spörl (2007) após análise dos modelos de fragilidade ambiental propostos por Ross (1994) e Crepani et al. (2001) propõe uma nova metodologia para a elaboração de modelos de fragilidade ambiental com base em Redes Neurais Artificiais – RNAs.

A modelagem da fragilidade é um desafio, pois apresenta dificuldades, uma delas é entender o comportamento das variáveis ambientais diante dos mecanismos que atuam na vulnerabilidade do sistema, outra, é traduzir, o mais fielmente possível, esse conhecimento para um sistema de equações matemáticas, o modelo.

As RNAs constituem uma técnica de Inteligência Artificial que tenta emular em computadores o mecanismo de decomposição paralela de informações, como ocorre no cérebro humano, de uma maneira simplificada, possuindo a capacidade de aprender por meio de exemplos e de generalizar a informação aprendida.

A RNA reconhece padrões, extrai regularidades e detecta relações em um conjunto de dados aparentemente desconexo. Ela apresenta habilidade de lidar com dados ruidosos, incompletos ou imprecisos, e de prever sistemas não lineares, o que torna a sua aplicação na análise ambiental bastante eficiente (SPÖRL, 2007).

A utilização das RNAs passa por uma etapa de aprendizagem, onde um conjunto de exemplos é apresentado para a rede, que extrai automaticamente as características necessárias para representar a informação fornecida. Essas características são utilizadas posteriormente para gerar respostas para o problema em questão (SPÖRL, 2007).

Para identificar os padrões do objeto de estudo as RNAs baseiam-se no ajuste dos pesos entre as conexões para ponderar as entradas em cada neurônio. As condições de controle utilizadas para o ajuste dos pesos estão intrinsecamente relacionadas à gama de dados que serão utilizados. O ajuste dos pesos é denominado como o aprendizado da rede (SPÖRL, 2007).

As RNAs aprendem por meio de exemplos. Durante a fase de treinamento a rede extrai informações relevantes de padrões de informação que lhe foram apresentados.

Desta forma, para compor a base de dados a ser utilizada no treinamento das RNAs, a autora convidou seis especialistas para participarem de avaliações comparativas de fragilidade ambiental para diferentes cenários simulados.

Um modelo baseado em RNAs pode emular uma decisão humana. A RNA treinada com informações extraídas a partir de simulações de processos de escolha, acaba por reconhecer e assimilar os padrões de decisão adotados por especialistas consultados.

A proposta de utilizar as RNAs nos modelos de fragilidade ambiental é uma alternativa para decisões complexas, envolvendo muitos critérios, sendo que a seleção dos critérios, assim como a definição dos pesos, tratam-se de avaliações arbitrárias e subjetivas (SPÖRL, 2007).

Na proposta metodológica de Spörl (2007) para elaboração de modelos de fragilidade ambiental baseados em RNAs foram necessárias as seguintes etapas:

A primeira consiste na seleção das variáveis relevantes para a construção do modelo e a definição de suas respectivas alternativas com suas faixas de valores (amplitude de cada variável).

A segunda etapa é a implementação do *software* de elaboração de modelos, que tem como função compor um conjunto de treinamento para a RNA.

A terceira fase consiste na aplicação dos *softwares* adaptados para a pesquisa (simulações) aos especialistas convidados, onde os mesmos avaliaram a fragilidade ambiental em cada uma das situações simuladas.

Os dados obtidos nas simulações constituíram a base de informações para o reconhecimento de padrões de avaliação. Estes dados foram aplicados nos treinamentos das RNAs para que a rede tentasse capturar o padrão de avaliação de cada um dos especialistas. Com estes padrões reconhecidos as RNAs poderão fornecer respostas para situações onde seja requerida a análise da fragilidade.

As variáveis selecionadas por Spörl (2007) para a entrada do modelo de fragilidade ambiental utilizando RNAs são: declividade dominante, solos, rochas, uso da terra/cobertura vegetal e intensidade pluviométrica.

Com intuito de obter um conjunto de treinamento a ser aplicado na RNA foram utilizados alguns *softwares* desenvolvidos para uma pesquisa junto aos especialistas. Estes programas serviram como ferramentas para atribuir uma escala às notas das alternativas e aos pesos de cada variável, conforme critérios de avaliação de cada entrevistado. Os programas são: Pesquisa de Calibração; Pesquisa de Escalonamento de Cada Variável; Pesquisa de Avaliação de Cenários.

A finalidade da Pesquisa de Calibração é familiarizar e treinar os entrevistados a utilizar o sistema de avaliação implementado.

Segundo Spörl (2007), após receber todas as avaliações comparativas possíveis, o *software* calcula a escala indicada pelo entrevistado, apresentando-a por meio de notas normalizadas.

O programa apresenta um comparativo entre a escala estimada (pelo entrevistado) e a escala real (ambas normalizadas).

Na Pesquisa de Escalonamento de Variáveis faz-se uma pesquisa de avaliação semelhante à de Calibração, a diferença é que o entrevistado já familiarizado com o método, avalia o conjunto de valores de cada critério referente à fragilidade para obter o escalonamento de variáveis.

Nesta etapa apresenta-se aos especialistas as cinco variáveis e suas respectivas alternativas. Estas variáveis são apresentadas individualmente onde é requisitado ao especialista indicar, por exemplo, qual tipo de solo é mais frágil. Para cada uma das variáveis são apresentadas todas as combinações possíveis onde na comparação duas a duas é preciso apontar qual dos itens apresentados é mais frágil e o quanto ele é mais frágil (SPÖRL, 2007).

Estes testes fornecerão as informações para que a RNA capture o padrão de avaliação adotado, e então, calcule a hierarquização deste entrevistado quanto às alternativas de cada um dos critérios avaliados.

Na Pesquisa de Avaliação de Cenários os especialistas ao invés de comparar apenas as variáveis individualmente são requisitados a efetuar comparações onde são apresentadas simultaneamente todas as variáveis. Em cada uma destas

simulações são apresentados dois diferentes cenários para serem comparados quanto aos seus graus de fragilidade.

As informações obtidas nesta etapa são fundamentais para que a RNA possa determinar o *ranking* do grau de influência (peso) de cada variável frente aos processos erosivos, adotado pelo entrevistado. Este *ranking* mostra um escalonamento das variáveis segundo suas interferências, com maiores ou menores intensidades, na vulnerabilidade do sistema (SPÖRL, 2007).

Conforme Spörl (2007) para implementar um modelo baseado em RNAs são necessárias as seguintes etapas: definição do problema; coleta dos dados de treinamento; separar em conjunto de treinamento e verificação; configuração da rede; treinamento da rede; verificação da rede e validação da rede.

Existem os pacotes de sistemas simuladores de redes neurais comerciais ou de domínio público, assim como SNNS (*Stuttgart Neural Net Simulator*), LVQ (*Learning Vector Quantization*), RCS (*Rochester Connectionist Simulator*), *Easy NN-plus*, etc. Estes simuladores simplificam a modelagem das RNAs.

Para atender ao objetivo do trabalho, Spörl (2007) implementou um *software* de elaboração de modelos com base na metodologia de Castro (1998). Este *software* foi adaptado e implementado para a aplicação na análise da fragilidade ambiental.

Segundo a autora, os atributos básicos de uma rede neural podem ser divididos em duas categorias: arquitetura e neurodinâmica.

A forma como os neurônios são organizados numa rede neural é denominada topologia ou arquitetura da rede. Essa arquitetura irá afetar o desempenho da rede, bem como, as aplicações para as quais ela é desejada e sua estrutura está intimamente ligada ao algoritmo de aprendizado utilizado para seu treinamento.

A arquitetura da RNA utilizada pela autora é descrita como uma rede de três camadas, com a seguinte composição: 5 neurônios na camada de entrada; 3 neurônios na camada oculta; 1 neurônio na camada de saída.

A camada de entrada é responsável pela distribuição da informação para as camadas intermediárias recebida do meio externo. É onde os padrões são apresentados à rede.

Nas camadas ocultas ou intermediárias é onde ocorre a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas, podem ser consideradas como extratoras de características. Já a de saída é responsável pela resposta da rede, onde o resultado final é concluído e apresentado. Ela recebe os estímulos da camada intermediária e constrói o padrão de resposta.

Por ficar estabelecido que os critérios de decisão para obtenção do grau de fragilidade seria a declividade, os solos, as rochas, a cobertura vegetal e a intensidade pluviométrica, o número de elementos de processamento na camada de entrada ficou dimensionado em cinco nós. E o número de unidades de saída, fixado em 1, refere-se ao resultado final que responde pelo grau de fragilidade.

A neurodinâmica corresponde à habilidade da RNA de aprender e com isso melhorar seu desempenho. A solução de um problema por meio da RNA passa pela fase de aprendizado onde a rede extrai informações relevantes de padrões de informação apresentados gerando uma representação própria do problema. Isso é feito através de um processo iterativo de ajustes aplicado a seus pesos, o treinamento. O aprendizado ocorre quando a rede neural atinge uma solução generalizada para uma classe de problemas.

O método de aprendizado adotado no trabalho de Spörl (2007) para a RNA foi o algoritmo de retropropagação (*backpropagation*).

Uma RNA é essencialmente caracterizada através da sua arquitetura, seu algoritmo de treinamento e por sua função de ativação. Como forma de proceder ao treinamento das redes neurais para o desempenho da função desejada, os dados utilizados devem ser divididos em (SPÖRL, 2007):

Amostra de treinamento: responsável pela aprendizagem da rede a partir dos exemplos apresentados; amostra de validação: utilizada para verificar a consistência do aprendizado da rede; amostra de teste: utilizada para medir os níveis de acerto da RNA, utilizando-se para isto, exemplos que não foram vistos antes pela rede.

Os dados obtidos através das simulações foram separados em dois conjuntos. Parte dos dados foi aplicado no treinamento da RNA (conjunto de treinamento), e outra parte, na realização de testes de desempenho para verificar se as redes treinadas estavam assimilando o padrão de avaliação utilizado pelo especialista.

No treinamento os dados gerados por estas comparações realizadas pelos especialistas foram apresentados a RNA, repetidamente, e a cada ciclo de treinamento, os pesos (ganhos) sinápticos foram se ajustando até que a rede atingisse uma configuração que minimizasse o erro global.

Depois do treinamento, realizou-se a verificação. A verificação é a etapa em que outros dados que não fazem parte do treinamento são testados para verificar o desempenho do aprendizado da rede.

Segundo Spörl (2007) foram separados dez exemplos, gerados pelas comparações realizadas pelos especialistas, para compor o conjunto de teste.

Estes dez exemplos não foram apresentados no treinamento. Portanto são aplicados neste teste para medir os níveis de acerto da rede, ou seja, para verificar o desempenho de aprendizado da rede.

Terminado o processo de aprendizado e de teste foram gerados os resultados finais simulados pelas RNAs com base no reconhecimento do padrão de avaliação de cada especialista.

Os resultados gerados pelas redes foram apresentados na forma de dados numéricos, os quais foram tratados estatisticamente para permitir a comparação destes resultados.

Para fins comparativos foi estabelecido uma padronização destes dados a serem utilizados na confecção dos mapas. Foi realizado um tratamento estatístico para então padronizar os intervalos entre as classes, de forma que todos os mapas apresentassem cinco níveis de fragilidade/vulnerabilidade (relativa) em termos de áreas territoriais aproximadamente iguais (SPÖRL, 2007).

Conforme o exposto, não corresponde ao objetivo deste artigo decidir qual a melhor metodologia para modelagem da fragilidade ambiental, mas apresentar possibilidades metodológicas para produção de mapas que espacializem os graus de fragilidade de uma determinada área de estudo.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica-SIG tem sido uma ferramenta amplamente utilizada nos estudos de fragilidade ambiental, principalmente com enfoque no planejamento ambiental. Pois, possibilita a

integração de diferentes variáveis ambientais por meio de álgebra de mapas favorecendo neste sentido a confecção de cartas de fragilidade ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Evidencia-se que a fragilidade ambiental ocorre pela desestabilização do equilíbrio dinâmico do ambiente, sendo a fragilidade um aspecto intrínseco do meio. Desta forma, determinados tipos de solos podem ser mais ou menos frágeis a um dado processo erosivo sendo estes distintos níveis consequentes das características inerentes aos solos. Neste contexto, a atuação antrópica no ambiente sem o devido planejamento, a exemplo do desmatamento, pode intensificar a fragilidade ambiental.

Na proposta de Spörl (2007) observa-se a importância da participação dos especialistas que a partir de seus conhecimentos sobre fragilidade realizam comparações entre variáveis e dão as informações que irão alimentar as redes neurais na fase de treinamento. Esta etapa de participação dos pesquisadores é relevante, pois a RNA apresenta em seu resultado o conhecimento e as experiências de profissionais da temática em análise, denotando um ganho sob o ponto de vista metodológico.

A metodologia de Ross (1994) amplamente utilizada nos estudos de fragilidade ambiental, embora não sendo obrigatório a participação de especialistas na atribuição de pesos, é um modelo que possibilita espacializar os níveis de fragilidade de modo coerente. Este modelo é passível de adaptações até mesmo associadas a outras metodologias, a exemplo do uso do AHP para atribuir pesos as variáveis. São essas adaptações que possibilitam melhorias em procedimentos metodológicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu agradecimento a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da tese de doutorado intitulada: Análise da vulnerabilidade socioambiental da bacia hidrográfica do rio Preguiças (MA) sob a perspectiva da Geoecologia da Paisagem.

REFERÊNCIAS

AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA J. R. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.

GIMENES, F. B. Q.; AUGUSTO FILHO, O. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu, PR, **Anais eletrônico** [...]. São Paulo: INPE, 2013. p. 6564-6571.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12., 2005, Goiânia, Anais eletrônico [...]. São Paulo: INPE, 2005, p. 2203-2210.

MIYAZAKI, L. C. P. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo**: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de Presidente Prudente/SP e Marília/SP. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.6, p. 63-74, 1994.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando Redes Neurais Artificiais**. 2007. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico Físico-Ambiental para a determinação da fragilidade potencial e emergente da bacia do baixo curso do Rio Passaúna em Araucária - Paraná**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

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