

# Determinação e Mapeamento da Fragilidade Ambiental nas Margens do Rio São Francisco

---

*Itamar Antonio Bognola<sup>1</sup>*

*Guilherme de Castro Andrade<sup>2</sup>*

*Lorena Stolle<sup>3</sup>*

## Introdução

O Rio São Francisco percorre cerca de 2.700 km desde as suas nascentes na Serra da Canastra, em Minas Gerais até a sua foz, na divisa de Sergipe e Alagoas. Este rio apresenta grande importância socioeconômica na região, pois é responsável pela geração de energia elétrica em cinco usinas e pela irrigação de áreas de fruticultura, especialmente na região semiárida, gerando empregos e renda para a população local (BRASIL, 2008). Dada a sua importância, torna-se relevante atuar na conservação de suas margens. Conhecer as suas peculiaridades é o primeiro passo.

Um determinado ambiente apresenta características intrínsecas como relevo, tipo de solo, geologia, e de clima que, em conjunto, apresentam diferentes níveis de vulnerabilidade natural.

O termo fragilidade ambiental pode ser entendido como “o grau de suscetibilidade ao dano, ante a incidência de determinadas ações, ou ainda como o inverso da capacidade de absorção de possíveis alterações sem que haja perda de qualidade” (RAMOS, 1987).

A análise empírica da fragilidade ambiental proposta por Ross (1994) fundamenta-se no conceito das Unidades Ecodinâmicas preconizado por Tricart (1977), onde se parte do pressuposto que na natureza a troca de energia e matéria se relaciona em um equilíbrio dinâmico. De acordo com

---

<sup>1</sup>Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR. [iabog@cnpf.embrapa.br](mailto:iabog@cnpf.embrapa.br)

<sup>2</sup>Engenheiro-florestal, D.Sc. em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR. [andrade@cnpf.embrapa.br](mailto:andrade@cnpf.embrapa.br)

<sup>3</sup>Engenheira-florestal, Agropastoril Gaboardi Ltda, São Cristóvão do Sul, SC. [lorenastolle@yahoo.com.br](mailto:lorenastolle@yahoo.com.br)

este conceito, Tricart (1977) considera que os ambientes são estáveis quando estão em equilíbrio dinâmico e foram poupados da ação humana, encontrando-se em estado natural. Entretanto, quando este equilíbrio sofre as intervenções antrópicas, passa a ser denominado como unidade instável.

A maioria dos trabalhos existentes de mapeamento de fragilidade ambiental adota uma metodologia simples de cruzamentos de mapas (planos de informações). A representação rígida da classificação *booleana*, normalmente utilizada nestes cruzamentos efetuados nas operações de manipulação em Sistema de Informações Geográficas (SIG), provocam a propagação de erros e resultados não confiáveis. No exemplo citado por Meirelles (1997), onde se faz uma avaliação para o risco de erosão por meio de uma intersecção *booleana* (AND) com os seguintes parâmetros: declividade maior que 10%, textura do solo é igual à areia e a cobertura vegetal é menor que 25%, verifica-se que o sistema pode ser testado em seus atributos fornecendo uma resposta verdadeira ou falsa, ou seja, se o polígono não satisfizer as três condições simultaneamente, ele não é considerado. Este tipo de modelagem é equivocado, pois deve-se considerar que o risco de erosão ainda continuará existindo se a declividade for ligeiramente menor que 10%.

Os valores de pertinência *fuzzy* dados de forma relativa e os operadores *fuzzy* permitem uma grande flexibilidade na modelagem. Em outras palavras, as limitações impostas pelos modelos convencionais (classificação *booleana*), podem ser eliminados pelos modelos *fuzzy*, por causa da flexibilidade dos seus operadores. Além disso, a possibilidade de se utilizar valores *fuzzy* relativos, simultaneamente, à importância do mapa e da classe, permite, de forma inovadora, a variação dos pesos de acordo com as características conjuntas da região. Isto é extremamente importante no caso de planejamento regional ou de recursos naturais, pois possibilita a análise integrada do ambiente, fornecendo um modelo muito próximo à realidade (MEIRELLES, 1997).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar e mapear os níveis de fragilidade ambiental no entorno do Rio São Francisco na Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA promovendo, assim, medidas de prevenção e de recuperação em suas áreas.

## Dados

A primeira etapa consiste em levantar todos os dados necessários para a análise da fragilidade ambiental, onde estão previstas variáveis referentes ao relevo (declividade), aos solos (textura da camada superficial e da camada subsuperficial, profundidade efetiva, teor de matéria orgânica, densidade) e da cobertura vegetal (densidade).

## Espacialização dos Dados

Os dados utilizados para a análise da fragilidade ambiental devem estar representados em planos de informações (mapas vetoriais). Desta forma, elaborados os mapas dos atributos físicos do solo (interpolação) e de declividade a partir do arquivo de curvas de nível.

Muitos dos métodos tradicionais de interpolação incorporados em sistemas de informações geográficas (SIG) são baseados em funções matemáticas. Burrough (1986) apresenta vários métodos de interpolação espacial, tais como: método da poligonal, triangulação, média local das amostras e método da distância inversa. Em geral, estes métodos são facilmente implementados e razoavelmente rápidos, porém, consideram que as amostras são independentes.

Câmara et al. (2004) citam que técnicas geoestatísticas podem ser utilizadas para se fazer a interpolação de dados e representar uma superfície contínua, considerando-se um comportamento homogêneo da estrutura de correlação espacial na área estudada e sua dependência espacial.

Os métodos de krigagem usam a dependência espacial entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima. São estimadores muito usados no estudo da distribuição espacial de atributos do solo (VIEIRA, 2000).

Desta forma, as predições dos atributos físicos do solo para áreas não amostradas serão realizadas por meio da técnica geoestatística denominada de Krigagem. Para os cálculos, produção dos gráficos e ajuste do semivariograma, o programa estatístico R e o pacote GeoR (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001); programas livres dentro da licença internacional GPL (*General Public Licence*). Para a krigagem propriamente dita, será

utilizada a extensão *Geoestatistical Wizard* do programa (*ArcGIS 9*), onde os parâmetros ajustados através da função de Máxima Verossimilhança do programa "R" serão digitados nos campos respectivos.

## Análise da Fragilidade Ambiental

A metodologia utilizada neste trabalho consiste basicamente em duas etapas: a) elaboração das redes de dependência e atribuição dos valores da função de pertinência *fuzzy* para cada uma das variáveis no programa *NetWeaver* e, b) execução e a avaliação final através da extensão *EMDS* para o *ArcGIS 9.0*.

No programa *NetWeaver*, a base do conhecimento é representada por objetos que são arranjados hierarquicamente e expressos graficamente por redes. Para este estudo, considerou-se que a rede "fragilidade ambiental" é dependente de outras duas redes: a rede "estado" e a rede "pressão".

A rede "estado", por sua vez, é dependente dos *data links*, que neste caso são: percentagem de argila da camada superficial, percentagem de argila da camada subsuperficial, teor de matéria orgânica, profundidade efetiva do solo e declividade. Já a rede "pressão" é dependente do *data links* cobertura vegetal (Figura 1).

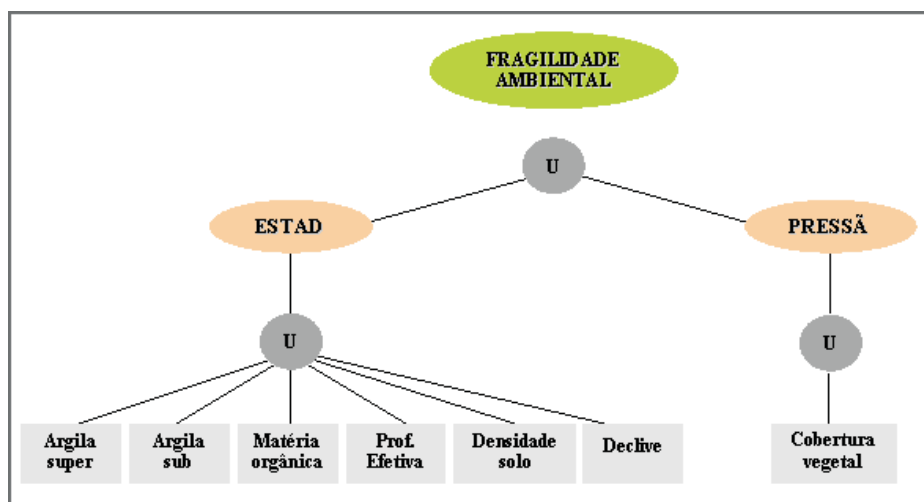


Figura 1. Esquema gráfico da rede de dependência.

Quando um *data link* é criado, define-se os argumentos de como os dados serão avaliados, que podem ser do tipo clássico (*crisp*) ou nebuloso (*fuzzy*). Um argumento do tipo clássico é baseado na lógica bivalente, onde o valor “verdade” de uma proposição é totalmente verdadeiro ou totalmente falso. Já no argumento tipo nebuloso os dados são comparados a um argumento *fuzzy* definidos por uma função de pertinência, onde o valor “verdade” resultante da rede é expresso pelo grau com que aquele dado suporta a proposição definida, ou seja, pode-se ter valores parcialmente verdadeiros ou parcialmente falsos. Neste trabalho será utilizado um argumento do tipo *fuzzy* para a proposição : fragilidade ambiental nas margens do Rio São Francisco.

Todos estes objetos, a rede e os *data links*, são conectados entre si por meio de operadores lógicos. Neste estudo será utilizado o operador *UNION* (1), o qual trata seus antecedentes como uma evidência que contribui na sustentação de uma proposição, sendo que cada argumento pode compensar o outro, dependendo da utilização de pesos ou não.

$$\text{UNION} = \frac{(\text{valor}_1 * \text{peso}_1 + \text{valor}_2 * \text{peso}_2 + \dots + \text{valor}_n * \text{peso}_n)}{\text{peso}_1 + \text{peso}_2 + \text{peso}_n} \quad (1)$$

Desta forma, para evitar que uma variável extremamente negativa compense igualmente outra extremamente positiva, serão adotados pesos diferenciados para cada uma das variáveis. Assim, considera-se que elas contribuem de maneira diferente na representação da fragilidade (Tabela 1).

**Tabela 1.** Pesos utilizados para as variáveis.

Variáveis	Peso
Declividade	5
Argila da camada superficial	4
Profundidade efetiva	3
Teor de matéria orgânica	2
Argila da camada subsuperficial	1
Densidade do solo	4
Cobertura vegetal	3

De acordo com Cogo et al. (2003), a inclinação do terreno é um dos fatores que influenciam fortemente as perdas de solo e água por erosão hídrica, pois, à medida que ela aumenta, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo. Com isso, aumenta a capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada, assim como a própria capacidade desta de desagregar solo por ação de cisalhamento, principalmente quando concentrada nos sulcos direcionados no sentido da pendente do terreno. Bertoni e Lombardi Neto (1985) citam que as propriedades dos solos que mais influenciam a erodibilidade pela água, são: a) as que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade e a capacidade de absorção de água e b) aquelas que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e às forças de transporte pela chuva e escoamento.

De acordo com Lepsch (1991), é também de grande importância se conhecer a textura das camadas superficial e subsuperficial de um solo, principalmente para estimar a sua suscetibilidade à erosão, pois as indicações sobre trabalhos mecânicos, erodibilidade e avaliação de outras características são mais precisas quando se conhece as texturas dos horizontes "A" e "B". Uma textura arenosa (argila de até 15%) aumenta a

predisposição do solo à erosão entre sulcos do que uma textura muito argilosa (mínimo de 60% de argila), uma vez que, na primeira, há menor estabilidade dos agregados, permitindo assim a ação desagregadora do impacto das gotas da chuva (FAVARETTO et al., 2006).

Já a profundidade efetiva de um solo é de grande importância para a infiltração da água, pois quanto maior o volume de solo, maior será a capacidade de retenção de água, diminuindo o escoamento superficial.

O teor de matéria orgânica tem grande relação com a erodibilidade do solo. Teores mais elevados fazem com que a capacidade de aglutinação nas partículas seja maior, favorecendo a capacidade de retenção de água e sua infiltração. No entanto em solos com teores muito elevados de matéria orgânica, a suscetibilidade à erosão pode ser aumentada, por causa do tamanho pequeno dos grânulos (estrutura granular) e sua baixa densidade (GONÇALVES; STAPE, 2002).

Deste modo, a análise da fragilidade ambiental propriamente dita é realizada através da extensão *EMDS* para o *ArcGIS 9*, tendo-se primeiramente, adicionado todos os planos de informação (mapas vetoriais) da área de estudo e, em seguida efetuado-se a leitura da base de conhecimento elaborada no *NetWeaver* para finalmente executar a análise.

## Resultados Esperados

De um lado, os mapas gerados por meio deste estudo irão auxiliar principalmente na tomada de decisão quanto ao planejamento territorial e ambiental do entorno do Rio São Francisco, pois eles fornecerão informações sobre as condições físicas, apontando a prioridade de recuperação de suas áreas e auxiliando no processo da conservação dos recursos hídricos da região. Por outro lado, os mapas de fragilidade ambiental serão úteis, também, para mostrar aqueles locais que são mais estáveis ambientalmente destinando o seu uso correto.

Os resultados de determinação e mapeamento dos níveis de fragilidade ambiental no entorno do Rio São Francisco na Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA serão úteis para as medidas de prevenção e de recuperação de matas ciliares no Bioma Caatinga.

## Referências

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1986.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **São Francisco**. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/rio/index.asp>>. Acesso em: 4 nov. 2008.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Brasília Cerrados, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 22 dez. 2010.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Soil and water losses by rainfall erosion influenced by tillage methods, slope-steepness classes, and soil fertility levels. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832003000400019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000400019&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 28 nov. 2007.
- FAVARETTO, N.; COGO, N. P.; BERTOL, O. J. Degradação do solo por erosão e compactação. In: LIMA, M. R (Ed.). **Diagnóstico e recomendações de manejo de solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002.
- LEPSCH, I. F. (Coord.). **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991.
- MEIRELLES, M. S. P. **Análise integrada do ambiente através do geoprocessamento: uma proposta metodológica para a elaboração de zoneamentos**. 1997. 192 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- RAMOS, A. (Coord.). **Diccionario de la naturaleza: hombre, ecología, paisaje**. Madrid: Espasa-Calpe, 1987.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R News**, London, v. 1, n. 2, p.15-18, 2001.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-73, 1994.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2000. p.1-54.