

# Integração *fuzzy* de imagens e dados heterogêneos no auxílio à avaliação de impacto ambiental

João Almeida de Góis  
Tania Mezzadri Centeno

CEFET-PR/CPGEI - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná  
Av. Sete de Setembro, 3165 - 80230-901 - Curitiba - PR, Brasil  
gois@cefetpr.br

**Abstract.** This article describes a method to evaluate, point by point, given images by environment specialists and managers, about the impact on the region. With *fuzzy* systems and Digital Image Processing, it is possible to acquire a representation that will be used in order to manage the resources and make decisions. A real example is also presented with data from the isle of Superagui, Parana-Brazil.

**Palavras-chave:** thematic maps, remote sensing, image processing, *fuzzy* systems, environmental decision support, environment impact evaluation, sensoriamento remoto, processamento de imagens, sistemas *fuzzy*, suporte à tomada de decisões ambientais, avaliação de impacto ambiental.

## 1. Introdução

Segundo Brasil (2002) a nação enfrenta grandes desafios na administração de seus sistemas ecológicos, econômicos e sociais uma vez que a análise do processo de desenvolvimento do país não é feita de forma integrada e sistêmica. Por outro lado, imagens de sensores remotos, com diversos e heterogêneos tipos de informações, tornam-se mais acessíveis aos interessados (administradores, pesquisadores, etc.) e podem alimentar os SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Abre-se campo para modelos computacionais capazes de auxiliar a tomada de decisão nestes sistemas.

Os SIG permitem a integração de dados geográficos de fontes diversas numa base de dados única e oferecem mecanismos para recuperar, manipular e visualizá-los, através de algoritmos de manipulação e análise, segundo Câmara et al. (1996). Imagens com diferentes informações de uma mesma região podem ser sobrepostas para permitir a visualização de eventos que causam impactos ambientais, tais como: clareiras, desmatamentos, queimadas, habitações, etc. Pode-se visualizar também outras entidades espaciais da região como: mangues, pântanos, rios, praias. Esta integração de informações pode servir de subsídio para que gestores e especialistas ambientais tomem decisões referentes à utilização dos recursos disponíveis para preservação do meio ambiente. Entretanto, o excesso e diversidade de informações podem dificultar a análise.

Surge a questão: como combinar informações desta natureza de forma a produzir representações que facilitem a análise na gestão ambiental ?

O objetivo deste trabalho é apresentar um método para combinar informações e gerar imagens representativas da distribuição de impacto ambiental em áreas onde foram detectados pontos de impacto, utilizando sistemas *fuzzy* e processamento digital de imagens (PDI).

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos utilizando sistemas *fuzzy* na avaliação ambiental, entre eles Goudard e Sinay (2001), Duarte (2000), Silvert (1997) e Sui (1992).

A seção 2 apresenta um resumo do uso de sistemas de inferência *fuzzy* direcionado para aplicações de avaliação ambiental. A seção 3 apresenta a metodologia enquanto a seção 4 apresenta resultados com base em dados reais. A seção 5 apresenta conclusões.

## 2. Sistemas *Fuzzy*

### 2.1. Aplicação de sistemas *fuzzy* na avaliação de impacto ambiental

Atualmente existem diversos métodos para avaliar impactos ambientais, citados em Meller e Floriano (2003). Goudard e Sinay (2001) também comentam métodos utilizados no Brasil, destacando a subjetividade imposta pelo avaliador, bem como a importação de modelos não representativos da realidade brasileira. Duarte (2000), Silvert (1997), Goudard e Sinay (2001) apresentam uma série de vantagens na utilização de sistemas de inferência *fuzzy* em questões relativas ao meio ambiente, resumidos a seguir:

- integração entre diversos e heterogêneos tipos de observação em diversas escalas de magnitude, de forma a permitir um balanço formal entre as condições favoráveis / desfavoráveis.
- possibilidade de montar um conjunto de variáveis com termos lingüísticos, conforme Zadeh (1975, 1965), que facilitam a utilização por parte de especialistas não habituados às terminologias matemáticas.
- estabelecimento de base de regras e outros recursos que vão integrar o efeito de eventos de natureza diversa.
- regiões de fronteira não abruptas onde pequenas variações não produzem salto de uma decisão para outra.

### 2.2. Sistemas de Inferência *Fuzzy*

Do inglês traduz-se *fuzzy* como nebuloso, incerto, impreciso, subjetivo, etc. A **Figura 1** apresenta um sistema de inferência utilizando sistemas *fuzzy*. Se na entrada as variáveis são numéricas, há necessidade de efetuar a fuzificação, ou seja, a associação de um vetor lingüístico aos possíveis valores dos parâmetros, para produzir um conjunto *fuzzy*.

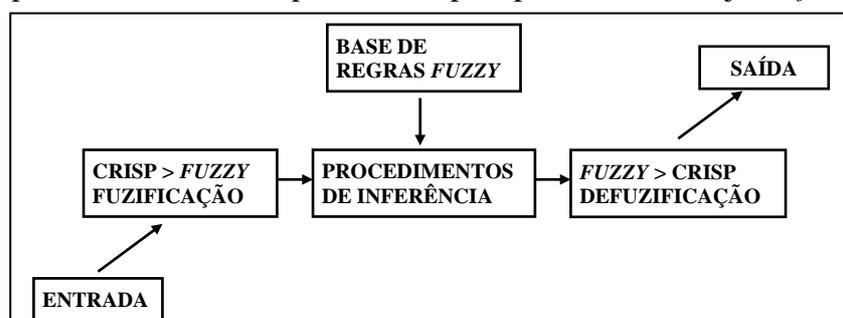


Figura 1: Sistema de inferência fuzzy.

Na teoria dos conjuntos tradicionais (denominada *crisp*) diz-se que um elemento tem duas condições: pertence ou não pertence ao conjunto. Já em um conjunto *fuzzy* cada elemento possui um “grau de pertinência”,  $\mu$ . Assim:

- se  $\mu = 1$ , o elemento pertence totalmente ao conjunto, como em um conjunto *crisp* normal
- se  $\mu = 0$ , o elemento não pertence ao conjunto.
- se  $\mu$  estiver entre o 0 e 1, o elemento pertence ao conjunto com certo grau.

A **Figura 2a** apresenta um exemplo de fuzificação utilizando funções de pertinência triangulares, onde uma temperatura de 15°C é classificada como pertencendo ao conjunto “baixa” com  $\mu = 0,25$ ; ao conjunto “média” com  $\mu = 0,5$  e não pertencendo ao conjunto alta ( $\mu = 0$ ). Esses valores compõem um vetor lingüístico *fuzzy*.

No exemplo, são utilizadas funções de pertinência triangulares, há diversas possibilidades, entre elas: trapezoidal, gaussiana e sigmoideal, citados em Pedrycz (1998).

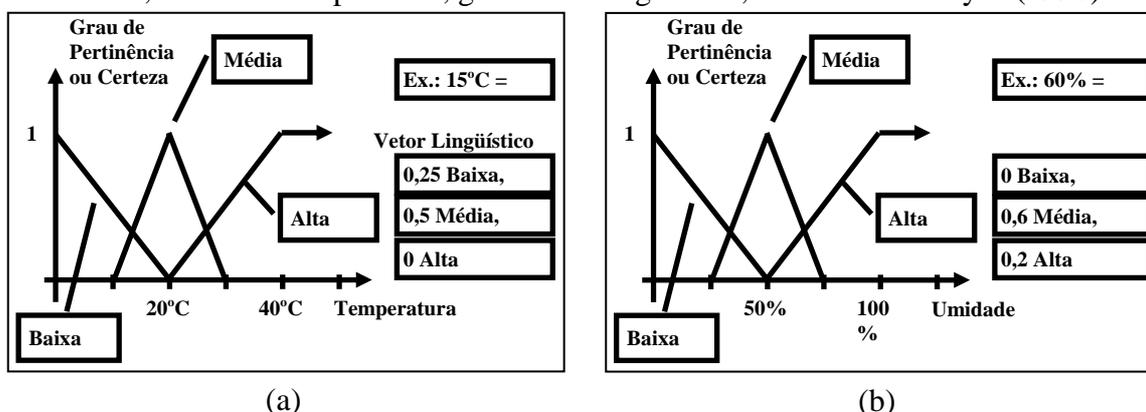


Figura 2: Exemplo de fuzificação e variável vetor lingüístico *fuzzy*.

A **Tabela 1** apresenta um exemplo de base de regras. As variáveis de entrada são Temperatura e Umidade, as quais podem receber os seguintes valores: Alta, Média, Baixa. A regra 1, por exemplo, estabelece que se as variáveis de entrada “Temperatura = Alta” e “Umidade = Alta” então a variável de saída “Possibilidade de Chuva” assume o valor “Alta”. A cada regra pode ser estabelecido um “peso”, denominado Função de Certeza (FC), normalmente 1.

Tabela 1: Exemplo de base de regras *fuzzy*.

Regra	FC (Função de Certeza)	SE		ENTÃO
		Temperatura	Umidade	Possibilidade de chuva
1	1	Alta	Alta	Alta
2	1	Baixa	Alta	Média
3	1	-	Média	Baixa
4	1	Média	Média	Baixa
...	...	...	...	...
	Grau de validade da regra	Antecedentes: parâmetros de entrada		Conseqüente: parâmetro de saída

No bloco procedimentos de inferência são realizados mapeamentos que estabelecem um comportamento entrada / saída baseado em:

- implicação - forma de combinar os antecedentes (conjuntos *fuzzy* de entrada) que ativaram determinada regra. Normalmente se utiliza implicação pelo mínimo, ou seja, o conjunto de saída prescrito pela regra tem grau de pertinência igual ao mínimo entre as entradas.
- Agregação - forma de combinar os conseqüentes (conjuntos *fuzzy* de saída) gerados à partir das regras ativadas. Normalmente se faz agregação pelo máximo, ou seja, entre os diversos conseqüentes de um mesmo conjunto gerados na implicação, seleciona-se o de maior grau de pertinência.

O exemplo da **Figura 2** ativa:

- a regra 2: temperatura baixa ( $\mu = 0,25$ ) e umidade alta ( $\mu = 0,2$ ), resultando possibilidade de chuva média ( $\mu = 0,2$  - implicação pelo mínimo).
- a regra 3: temperatura qualquer e umidade média ( $\mu = 0,6$ ) resultando possibilidade de chuva baixa ( $\mu = 0,6$ ).
- A regra 4: temperatura média ( $\mu = 0,5$ ) e umidade média ( $\mu = 0,6$ ) resultando possibilidade de chuva baixa ( $\mu = 0,5$  - implicação pelo mínimo).

Os conseqüentes (conjuntos *fuzzy* de saída) são:

- um conjunto “baixa” com  $\mu$  limitado a 0,6 - agregação pelo máximo entre regra 3 ( $\mu = 0,6$ ) e regra 4 ( $\mu = 0,5$ ).
- um conjunto “média” com  $\mu = 0,2$  (agregação pelo máximo de apenas um conjunto).

A **Figura 3** apresenta os dois conseqüentes gerados, já unidos para o procedimento de defuzificação, ou seja, converter a saída em valor numérico, sendo um método popular o *centroid*, cálculo do centro da área sob a curva após agregação e união dos conseqüentes.

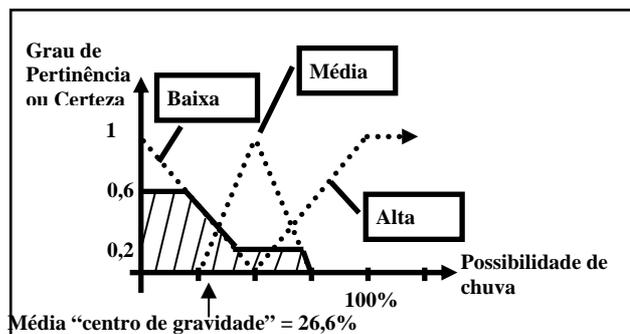


Figura 3: Resultado da agregação pelo máximo, união e de defuzificação “centroid”.

### 3. Metodologia

Especialistas fornecem imagens binárias dos eventos, onde *pixel* preto representa presença do evento e *pixel* branco ausência (*pixel* = elemento de imagem), como mostrado na **Figura 6**. Na **Figura 6a**, observa-se a imagem “clareiras-trecho” e na **Figura 6d** a imagem “trilhas-trecho”, neste exemplo geradas a partir de dados cedidos pelo Governo do Paraná por especialistas do CEFET-PR com a utilização do software Spring (2004).

Cada imagem binária de evento passa pela transformada da distância euclidiana, algoritmo descrito em Breu et al. (1995), produzindo imagens denominadas “distribuição do evento”, com níveis de cinza proporcionais à distância do ponto de evento mais próximo. Na **Figura 6c** o *pixel* é mais escuro quanto mais próximo do evento. A **Figura 6b** demonstra outra possibilidade de apresentação invertendo preto e branco (mais claro quanto mais próximo do evento). Estas imagens foram geradas com o *software* Matlab (2001).

As imagens obtidas através da transformada da distância mostram a “distribuição de cada evento”, e já podem ser utilizadas no auxílio de decisão e gestão ambiental, pois acentuam regiões com maior incidência do evento analisado.

Para combinar diferentes eventos, utiliza-se um sistema de inferência *fuzzy* onde as entradas são as imagens de distribuição de cada evento. Especialistas e usuários, com a devida orientação, são protagonistas na montagem do sistema. Cabe a eles determinar a arquitetura, ou seja, como serão combinados os eventos, a partir de orientação básica como mostra a **Figura 4** - exemplo de arquitetura para inferência em sistemas multivariáveis (número elevado de entradas). A saída de cada bloco de inferência é uma nova imagem que será entrada para o bloco seguinte, por exemplo a combinação de “caminhos” e “trilhas” resulta saída denominada “percursos”. O número de regras de cada inferência corresponde ao número de termos lingüísticos elevado ao número de antecedentes, portanto convém limitar o número de antecedentes em cada bloco de inferência, bem como reduzir o número de termos lingüísticos sempre que possível.

Conforme Goudard e Sinay (2001), a construção dos conjuntos *fuzzy* é baseada na obtenção do conhecimento dos especialistas e / ou usuários. Estudos realizados por Zadeh demonstram que acima de 15 especialistas existe uma estabilização (convergência) dos valores atribuídos aos graus de pertinência. A escolha apropriada da função de pertinência é

importante para a aplicação, segundo Sui (1992). Estão igualmente disponíveis métodos indutivos e dedutivos para a seleção das funções de pertinência, afirma Dombi (1990).

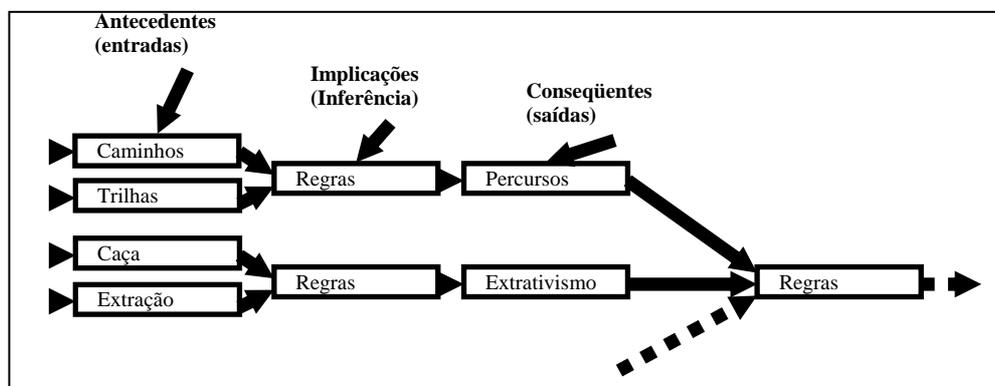


Figura 4: Arquitetura exemplo para inferência em sistemas multivariáveis.

Em conjunto com especialistas e usuários são estabelecidas a base de regras, implicação, agregação e defuzificação.

Por fim, tendo sido definidas as condições, é realizada a inferência, *pixel a pixel*, das imagens de distribuição de cada evento, gerando uma imagem de saída onde a tonalidade de cada *pixel* é proporcional ao impacto avaliado.

#### 4. Resultados

A metodologia foi empregada em dados da ilha de Superagüi, estado do Paraná – Brasil. A **Figura 5** apresenta um trecho da ilha e foi gerada no software Spring (2004), através de imagens de satélite e levantamento de campo (equipes de fiscalização com GPS), informações cedidas pelo Governo do Estado do Paraná. A imagem foi georeferenciada (em escala e proporções precisas) e os pontos brancos indicam a ocorrência de clareiras. Esta área foi escolhida por ser uma área de proteção ambiental (Patrimônio Natural Tombado), onde existem fatores de degradação do ambiente.



Figura 5: Ilha de Superagüi, rio (centro), praia e habitações, clareiras (pontos brancos).

Conforme já descrito na seção Metodologia, a **Figura 6** apresenta a aplicação da transformada da distância, gerando imagens de distribuição do evento. A **Figura 6a** resulta na **Figura 6b**, onde o *pixel* é mais claro quanto mais próximo do evento, e na **Figura 6c**, versão invertida (duas opções de visualização). O mesmo ocorre com a **Figura 6d**, **Figura 6e** e **Figura 6f**.

O exemplo trata de dados reais, porém foi simplificado pois o foco é a apresentação do método. A arquitetura foi reduzida a apenas dois antecedentes, clareiras e trilhas, resultando em apenas um conseqüente, como mostra a **Figura 7a**. A base de regras é apresentada na **Tabela 2**. A **Figura 7b** apresenta os conjuntos *fuzzy* e correspondentes funções de pertinência utilizadas nos antecedentes e conseqüentes. A implicação é feita pelo mínimo, a agregação pelo máximo, defuzificação *centroid*. Estas definições são popularmente utilizadas e foram selecionadas apenas para exemplificar o método.

A **Figura 8** apresenta o resultado geral, imagem clareira-trilha-impacto, gerada pelo *software* Matlab (2001), em duas versões, “positivo” (branco = maior impacto) e “negativo” (preto = maior impacto).

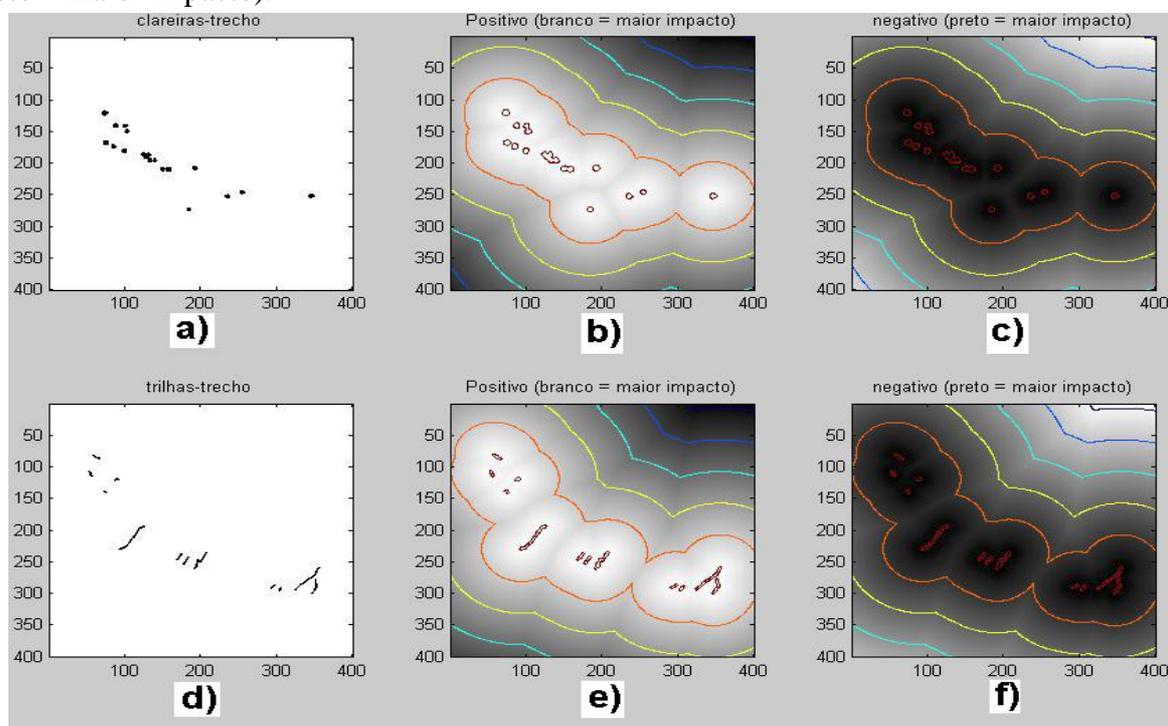


Figura 6: Resultados de aplicação da transformada da distância e outros processos na obtenção da distribuição do impacto ambiental.

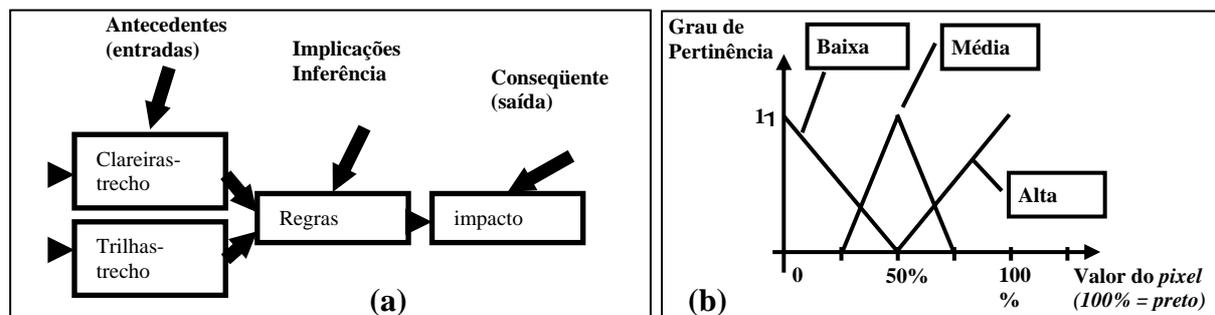


Figura 7: a)Arquitetura e b)funções de pertinência (fuzificação) para avaliação combinada clareiras – trilhas.

Tabela 2: Base de regras *fuzzy* “clareiras - trilhas”.

Regra	FC (Função de Certeza)	SE		ENTÃO
		Clareira	Trilha	Impacto
1	1	Alta	Alta	Alta
2	1	Alta	Média	Alta
3	1	Alta	Baixa	Média
4	1	Média	Alta	Alta
5	1	Média	Média	Média
6	1	Média	Baixa	Média
7	1	Baixa	Alta	Média
8	1	Baixa	Média	Média
9	1	Baixa	Baixa	Baixa

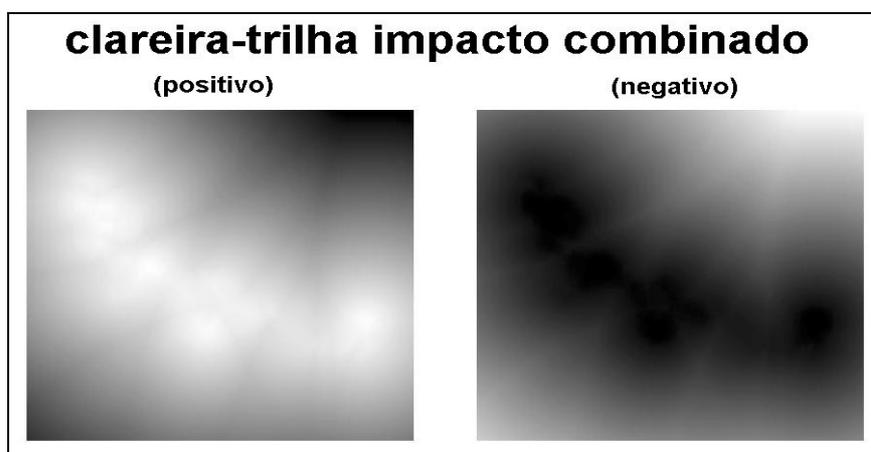


Figura 8: resultado avaliação combinada do impacto ambiental clareiras – trilhas.

## 5. Conclusão

Apesar da maior acessibilidade dos Sistemas de Informação Geográfica e dados de sensoriamento remoto por parte de gestores ambientais, o grande volume e diversidade de informações dificulta a análise e tomada de decisões. A utilização de sistemas de inferência *fuzzy* permite a integração balanceada de dados heterogêneos em diversas escalas de magnitude, que podem ser convertidos em termos lingüísticos (por exemplo: alto, médio, baixo), facilitando a utilização e o estabelecimento de regras de integração por parte de especialistas e usuários. Associado a técnicas de processamento digital de imagens (PDI), como a transformada da distância, é possível gerar imagens representativas da distribuição de eventos e impactos ambientais.

O método descrito pode ser implementado em um sistema computacional, com elaboração de software onde especialistas e gestores tenham a possibilidade de ajustar os parâmetros e regras de combinação e quantificação do grau de impacto em função dos diversos eventos presentes. No exemplo apresentado foram utilizadas as ferramentas (*toolbox*) para PDI e sistemas *fuzzy* do software Matlab (2001), executadas caso a caso. Futuramente prevemos, num primeiro momento, usar o software Matlab como plataforma de um aplicativo que permitirá aos usuários diversos ajustes e opções. Na seqüência, criação de um aplicativo em linguagem C ou outra a definir para uso em plataforma Windows / Linux.

Quanto ao exemplo, é fácil perceber que os resultados obtidos auxiliam na visualização das regiões com maior incidência de impacto causado pela presença combinada de clareiras e trilhas na ilha de Superagui, estado do Paraná, dentro do trecho e das condições selecionadas apenas para demonstração do método.

## 6. Referências

- Brasil. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil, de 2.9.1981. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm) >. Acesso em: 30 nov. 2004, contendo regulamentações e alterações.
- Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Rede Temática de Pesquisa em modelagem ambiental da Amazônia (GEOMA)**. Projeto Científico e Institucional. Versão #10 (25/Agosto/2002) 57 p. Investigadores Principais: Luiz Bevilacqua (LNCC), Gilberto Câmara (INPE), Raul Feijoo (LNCC)
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 001 de 23 de janeiro de 1986**. Publicado no Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil, de 17/2/86. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html> >. Acesso em: 30 nov. 2004.
- Breu, Heinz; Gil, Joseph; Kirkpatrick, David and Werman, Michael. "Linear Time Euclidean Distance Transform Algorithms", **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, vol. 17, no. 5 May 1995, pp. 529-533.
- Câmara, Gilberto, Casanova, Marco A., Hemerly, Andrea S., Magalhães, Geovane C., Medeiros, Claudia M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Rio de Janeiro, abril de 1996, disponível em <http://www.dpi.inpe.br/geopro/livros/anatomia.pdf>
- Dombi, J. Membership function as an evaluation. **Fuzzy Sets and Systems**, 35.1-21 (1990).
- Duarte Velasco, Oscar Germán. **Técnicas Difusas en la Evaluación de Impacto Ambiental**. 2000. 233 fs. (Memoria que presenta para optar al grado de doctor en informática). Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial de la Universidad de Granada.
- Goudard, B., Sinay, M. C. f.. Técnicas de pesquisa operacional para avaliar alternativas de projetos com potencial poluidor. **XXXIII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional** - A pesquisa operacional e o Meio Ambiente 6 a 9 de novembro de 2001 - Campos do Jordão - SP, p. 773-784, 2001.
- MathWorks Inc. **Matlab**. version 6.1.0.450. may 18, 2001. CDROM. Windows version.
- Meller, Juliana, Floriano, Eduardo Pagel. **Avaliação de Impacto Ambiental de Parques e Áreas de Lazer**. Estudo de Caso: Parque Fazenda Santa Rosa. Disciplina: Avaliação de Impacto Ambiental, Profª: Dóris Montardo e Geraldo C. Coelho. Unijui - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Pós-Graduação em Gestão Ambiental. Santa Rosa 2003
- Pedrycz, Witold. **An introduction to fuzzy sets: analysis and design**. The MIT Press (1998).
- Silvert, William. Ecological Impact Classification with *Fuzzy* Sets. **Ecological Modelling**, vol. 96, p. 1-10, 1997.
- Spring**. Versão 4.1 - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. Projeto do INPE / DPI (Divisão de processamento de Imagens). São José do Campos - SP. Última atualização: 17-Agosto-2004., disponível por download via internet <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html> Versão para Windows instalador com aproximadamente. 20Mbytes.
- Sui, Daniel Z. A *Fuzzy* GIS modeling approach for urban land evaluation. Department of Geography, University of GeorgiaCow., **Environ. and Urban Systems**, Vol. 16, pp. IOI-115,(1992).
- Zadeh, L.A. **Fuzzy Sets-Inform. and Control** 8, 338-353 (1965).
- Zadeh, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. **Information Science**. New York: Elsevier Publishing Company Inc. n. 8 p. 199-249 301-357. 1975.