

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N^o 65/6: 1025-1043
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MODELAGEM ESPACIAL DA SUSCEPTIBILIDADE À DEGRADAÇÃO AMBIENTAL POR INFERÊNCIA FUZZY APLICADA AO MÉDIO JACUÍPE-BA

*Methodology for Spatial Modeling of Susceptibility to Environmental Degradation
by Fuzzy Inference Applied to Jacuípe Middle-BA*

**Oriana Araujo¹; Joselisa Maria Chaves²
& Washington de Jesus Sant'anna da Franca Rocha²**

**¹Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS
Curso de Geografia**

Av. Transnordestina s/n. Módulo 7, sala MP 72. Bairro Novo Horizonte,
Feira de Santana – BA, Brasil - CEP 44.036-900
orianageo@gmail.com

**²Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Terra e do Ambiente – PPGM**

Módulo 5, Prédio PPGM, Avenida Transnordestina, s/n, Novo Horizonte,
Feira de Santana-Bahia, Brasil - CEP 44.036-900
{joselisamaria, francarocha}@gmail.com

*Recebido em 28 de Abril, 2012/ Aceito em 22 de Julho, 2012
Received on April 28, 2012/ Accepted on July 22, 2012*

RESUMO

Esse artigo apresenta as técnicas e procedimentos aplicados para a estimativa da susceptibilidade à degradação ambiental no médio curso da bacia do rio Jacuípe, com destaque para a lógica fuzzy. A modelagem espacial associou, por inferência fuzzy, as áreas com cobertura vegetal em 2008 a variáveis naturais e sociais (solos, declividade, IDH, proximidade de sedes municipais, zona de influência de estradas e de hidrografia), com o objetivo de estimar as áreas de maior susceptibilidade à degradação ambiental no médio Jacuípe. Dessa forma, explicita os principais procedimentos utilizados na escolha e associação das variáveis, por inferência fuzzy, indicando graus diferenciados de degradação, estimada em 5 níveis: alta (80%), moderadamente alta (2%), intermediária (3%), moderadamente baixa (4%) e baixa (11%), apontando uma proposta metodológica para esse tipo de pesquisa, em ambiente semiárido.

Palavras chaves: Semiárido, Geotecnologias, Modelagem Ambiental, fuzzy.

ABSTRACT

This article presents the techniques and procedures applied to estimate the susceptibility to environmental degradation in the medium course of river basin Jacuípe, with emphasis on fuzzy logic. The associated spatial modeling by fuzzy inference, the vegetation cover in 2008 the natural and social variables (soils, slope, HDI, proximity to municipal offices, area of influence of roads and hydrography), with the objective of estimate the areas of greatest susceptibility to environmental degradation in the medium Jacuípe. Thus, explains the main procedures used in the selection and combination of variables, by fuzzy inference, indicating different degrees of degradation, estimated at five levels: high

(80%), moderately high (2%), medium (3%), moderately low (4%) and low, pointing a methodology for this type of research, in environment semi-arid.

Keywords: Brazilian Semi-arid Region, Geotechnologies, Environmental Modeling, Fuzzy.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo desse artigo é demonstrar o uso da modelagem espacial dinâmica, com a aplicação da inferência fuzzy como proposta metodológica para estimativa de susceptibilidade ambiental em área core do semiárido brasileiro, na Bahia.

Considerando-se que as questões socio-culturais e naturais são dinâmicas, as variáveis passíveis de integração são detalhadas ao longo do trabalho. Nesse sentido, a pesquisa utilizou amplamente as geotecnologias, especialmente o sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens, enquanto técnicas de análise espacial (SOUZA FILHO e CRÓSTA, 2003), (SILVA, 2003), devido à sua comprovada eficiência nas aplicações geográficas, como demonstraram Luchiari et al. (2005).

O recorte espacial delimitado é o médio curso da bacia hidrográfica do rio Jacuípe, devido ao acúmulo de estudos que já realizamos na área (ARAÚJO, 2006; 2010), bem como da necessidade de ampliação da escala dos estudos na bacia do rio Jacuípe, uma vez que os próprios órgãos de planejamento, a exemplo do Ministério do Meio Ambiente apontam para o relativo desconhecimento dessa área (SILVA et al., 2004; CASTELETTI et al, 2005; SANTANA, 2007).

2. MODELAGEM ESPACIAL: UMA BREVE REVISÃO CONCEITUAL

A modelagem de dados espaciais diz respeito ao processo de organização dos dados espaciais e sua operacionalização através de métodos diferenciados. Câmara (1995) afirmou que o modelo de dados consiste num conjunto de ferramentas conceituais para estruturar dados num sistema computacional, que descreve como a realidade geográfica será representada; nesse sentido, diz respeito à tradução do mundo real em outros domínios.

Os modelos são tentativas de simplificação do real para torná-lo apreensível, uma vez que, considerando-se a complexidade dos fenômenos no real, é necessário formular estratégias que promovam seu estudo e compreensão. De

acordo com Chorley e Haggett (1975, p. 03-04) “[...] modelo é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade. Essa seletividade significa que os modelos têm graus variáveis de probabilidade e amplitude limitada de condições sobre as quais se aplicam.”

Assim, Chorley e Haggett (op cit) alertaram que os modelos são analogias, comparações do real que, portanto diferem do real pela impossibilidade de captar todas as suas relações, mas importantes por permitir a sua apreensão, análise e compreensão; interessa ainda destacar a idéia dos autores de que os modelos são subjetivos, de forma que obscurecem detalhes acidentais e destacam os fundamentais.

O pensamento de Borges et al. (2005, p.83), converge com os autores quando afirma que: “A modelagem do mundo real é uma atividade complexa porque envolve a discretização do espaço como parte do processo de abstração, visando obter representações adequadas aos fenômenos geográficos.”

Na perspectiva de Câmara (1995, p.41) “O processo de Modelagem é a forma que dispomos para traduzir o real em outros domínios.”

Concorda-se, portanto com a concepção de Felgueiras (2004, p.7-8), de que

“(…) a modelagem propriamente dita envolve a criação de estrutura de dados e a definição de superfícies de ajuste para os elementos dessas estruturas. O objetivo é a obtenção de uma função definível em toda a região de estudo. Essa função nem sempre é contínua e diferenciável para todos os pontos de seu domínio espacial.”

No contexto da modelagem ambiental, é ilustrativo o que diz Egler (2001) acerca do uso da modelagem na análise das mudanças de uso e cobertura do solo:

“[...] coerente com a melhor tradição dos estudos geográficos, parte da leitura das condições efetivas do território, isto é do espaço apropriado e trabalhado pelos grupos sociais, refletindo o desenvolvimento de suas condições técnicas e os conflitos e ajustes que se estabelecem entre os diversos agentes que interagem no tecido social.” (EGLER, 2001, p. 01)

Dentre as diversas possibilidades de discretização do real, Bonham-Carter (1998), discutiu a escolha de modelos para a detecção de minerais na geologia e os classificou em teóricos, híbridos e empíricos, cujos tipos de modelagem podem ser categorizados com base nos dados, a exemplo da regressão lógica, baseados em pesos e evidência e redes neurais ou baseada no conhecimento, a exemplo da lógica “nebulosa”.

Uma das dificuldades de lidar com modelos matemáticos na busca de representar fenômenos naturais e sociais, conforme Pedrosa e Câmara (2008), é a dificuldade de flexibilizá-los para apreender as interações entre os fenômenos e não capturar apenas um momento.

A escolha do modelo utilizado é importante para que se alcance o objetivo desejado, mas é importante atentar que, na perspectiva de Liu (2006, p. 815) “Não existe um tipo de modelo único para modelar todos os fenômenos espaciais dinâmicos do mundo real.”.

A utilização de modelos estocásticos tem aberto possibilidades de análise espaciais que buscam aproximar-se da autenticidade dos fenômenos, inferindo-lhes a possibilidade/probabilidade de mudança ou não da variável dependente, conforme a mudança da variável explicativa. Enquanto nos modelos determinísticos há o condicionamento da mudança da variável dependente, sempre que a variável explicativa mudar (obrigatoriamente).

Na concepção de Pedrosa e Câmara (2008), os modelos espaciais dinâmicos constituem-se de pelo menos três elementos: variáveis, relacionamentos e processos. Através da análise das relações entre os elementos integrantes do modelo, pode-se descrever a evolução espacial de um sistema ao longo do tempo.

Percebe-se que a modelagem de dados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) é uma ferramenta útil à compreensão dos processos que ocorrem no espaço geográfico,

ainda que não possam ser apreendidos em sua totalidade/complexidade, mas visualizados através de mapas, que são representações gráficas dos dados espaciais.

Corroborando essa discussão, Refosco (2007) ao discutir o emprego de modelos dinâmicos na análise do uso do solo em escala regional, considerou que se constituem na “[...] concretização do relacionamento entre o ser humano e a natureza [...]”, afirmando que “A mudança de uso da terra é o resultado de uma cadeia complexa de interações entre forças biofísicas e socioeconômicas ao longo do espaço e do tempo.” (REFOSCO, 2007, p. 324).

Briassoulis (2003), a partir de diversos teóricos, discutiu as questões relacionadas à cobertura e aspectos naturais da superfície e dos aspectos relacionados ao uso que a sociedade faz dos atributos biofísicos. Nesse sentido, destacou-se o potencial dos estudos de uso e cobertura da terra para o conhecimento acerca das modificações ambientais causadas pelas atividades humanas.

Os estudos ambientais lidam com aspectos da natureza e da sociedade, que possuem graus distintos de relações, o que os torna complexos; por essa razão, fez-se a opção pelo uso da inferência fuzzy, que possibilita a realização de um trabalho de modelagem dinâmica, conforme explicitado a seguir.

2.1 Inferência Fuzzy

A complexidade ambiental, incorporando-se aí a sociedade que atua sobre os elementos que compõem o sistema natural da Terra, dificulta a estimativa exata de diagnósticos que considerem muitas variáveis socioambientais. Por essa razão, optou-se nesse trabalho pelo uso da lógica fuzzy no processo de combinação de variáveis.

O método ‘possibilidade fuzzy’, foi desenvolvido por Lofti A. Zadeh, em meados do século XX e, de acordo com Silva (2003), Câmara et al. (2004 a e b), constitui-se num método de inferência geográfica, do qual resulta modelos que foram baseados nos dados utilizados e no conhecimento do pesquisador/especialista, de modo que pode-se destacar as seguintes características:

- Lida com conceitos inexatos, incertos, ambivalentes, aproximados, ambíguos, a exemplo de indefinição de limites de classes

(áreas de transição);

- Busca a compatibilização entre o conjunto e o objeto, assumindo valor 1 quando for total; o valor 0 quando não houver nenhuma compatibilidade; e entre 0-1 quando a compatibilidade for relativa;

- Reduz desvios e variâncias das medidas;
- As funções mais comuns de associação fuzzy são as lineares e senoidais.

Para Boham-Carter (1998), o conjunto fuzzy expressa uma escala contínua de 1 (uma adesão plena) para 0 (não-adesão plena), de modo que os valores de pertinência fuzzy devem estar no intervalo (0, 1), mas não há limitações práticas quanto à escolha de valores de adesão. Dessa forma, os valores são simplesmente escolhidos para refletir o grau de pertinência de um conjunto, com base em julgamento subjetivo.

Borroso, nebuloso, difuso, em graus ou em classes são termos utilizados para conceituar o fuzzy (MARTINS, 2003-2004), demonstrando a elasticidade do uso dessa técnica de inferência geográfica que atende a uma lógica não-binária, de forma que a técnica de inferência fuzzy ajustou-se a esse trabalho que trata de variáveis complexas e em constantes mudanças, o que dificulta precisar absolutamente o seu estado.

A perspectiva adotada por Câmara et al. (2004c), baseados em pressupostos de Burrough e McDonnel, é a de que:

O conjunto Fuzzy é uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões não tem ou não pode definir limites rígidos (bordas) entre classes. “(...) A utilização de um conjunto Fuzzy é indicada sempre que se tiver que lidar com ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos empíricos.” (Câmara et al., p.9-3, 2004b).

Segundo Sandri e Correa (1999):

“Um controlador nebuloso é um sistema nebuloso a base de regras, composto de um conjunto de regras de produção do tipo Se <premissa> Então<conclusão>, que definem ações de controle em função das diversas faixas de valores que as variáveis de estado do problema podem assumir.” (Sandri e Correa, 1999, p. c073).

Na pesquisa acerca da susceptibilidade à degradação ambiental no médio Jacuípe foram associadas, por inferência fuzzy, variáveis

naturais e sociais, atribuindo-lhes pesos e valores diferenciados – que foram baseados nos dados, a partir da associação entre mapas de distância e cobertura vegetal, além do conhecimento que se tem da área.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

De modo geral, optou-se por utilizar o processamento digital de imagens e a modelagem de dados espaciais integrados por inferência *fuzzy* e balizado por trabalhos de campo, que possibilitaram o conhecimento da área e a mensuração dos pesos das variáveis. Os materiais utilizados para a realização desse trabalho foram:

- Software ArcGis 9.3; Envi 4.6;
- Imagens do satélite Landsat 1, 3 e 5;
- Dados digitais temáticos disponibilizados em: <http://siscom.ibama.gov.br/shapes>;
- Modelo Digital de Terreno disponibilizado em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>;
- Aparelho GPS (Global Position System).

Os métodos utilizados nesse trabalho serão mais bem apresentados como procedimentos no item resultados e discussão, uma vez que a metodologia elaborada é um dos resultados da pesquisa, mas constam, de modo geral, das seguintes etapas:

- i. Levantamento bibliográfico e elaboração de referencial teórico;
- ii. Pré-processamento e processamento digital de imagens (recorte, reamostragem, composição colorida, classificação supervisionada, edição);
- iii. Organização do banco de dados (ajuste de similaridade de datums e escala, exportação para os formatos específicos de cada software e procedimento realizado);
- iv. Elaboração de mapas de distância para sedes de municípios, estradas e rios principais;
- v. Cálculo de áreas de cobertura vegetal em cada distância considerada para as variáveis sedes de municípios, estradas e rios principais;
- vi. Elaboração de mapas de evidência *fuzzy*;
- vii. Aplicação de técnicas de modelagem espacial, a partir de lógica *fuzzy* e do interpolador SUM;

- viii. Elaboração de mapas temáticos e edição;
- ix. Análise e integração dos resultados.

4. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL POR LÓGICA FUZZY

Estimar as áreas de maior susceptibilidade à degradação ambiental em bacias hidrográficas requer a interrelação de muitas variáveis, visto que a ideia de degradação ambiental representa uma concepção ampla de perda de qualidade ambiental e de vida. Para isso, após a realização de testes com metodologias variadas, optou-se pela modelagem de dados espaciais, amparado na lógica fuzzy como método de inferência geográfica e então, elaborou-se essa proposta metodológica, uma vez que não encontramos na literatura uma proposta que fosse viável para a área onde aplicamos o estudo, bem como para os dados disponíveis.

Tornar o banco de dados homogêneo no que tange à configuração espacial (datum, sistema de coordenadas, escala, dados em formato raster) é um trabalho basilar para a realização da modelagem espacial dos dados. Fez-se a seleção dos dados e formatos digitais – vetores, polígonos e raster – adequando-os à mesma projeção cartográfica (UTM - datum WGS 84, zona 24S) e à mesma resolução espacial (pixel de 30m x 30m), a fim de iniciar a expansão dos seus limites espaciais às distâncias desejadas, elaborando os mapas de distância/buffers que na perspectiva do IBGE (2010) “[...] buffer é uma área gerada ao redor de determinada feição de dimensão constante e definida pelo usuário.”

Os mapas de distância das variáveis hidrografia, sedes de município e estradas, foram convertidos para raster a fim de serem reclassificados em mapas de evidência fuzzy. Tal conversão se faz necessário a fim de atribuir valores aos objetos mapeados, de modo que possam ser processados com técnicas de inferência geográfica, já que na perspectiva da modelagem espacial: “Mapas são dados e não desenhos. Tratar mapas como dados significa dar forma numérica ao espaço ao associar, a cada localização, um valor que representa a grandeza em estudo; requer ainda, na maior parte dos casos, o uso do formato matricial (“raster”), mais adequado a uma representação contínua do

espaço.” (Câmara et al., 2004c, p. 9-30).

Para Boham-Carter (1998), os valores de pertinência fuzzy devem refletir a importância relativa de cada mapa, assim como a importância de cada classe de um único mapa.

Nesse sentido, o trabalho de escolha das variáveis e dos valores de pertinência ao conjunto fuzzy a elas atribuídos foi cauteloso, baseado nos dados e no conhecimento da área. Contudo, conforme destacou Silva (2003), por mais que a definição desse conjunto seja apropriada, é possível e até preciso considerar a existência de ambigüidades, de incertezas.

Na concepção de Kohagura (2007) as principais vantagens da lógica fuzzy em relação à lógica clássica é que o fuzzy descreve um determinado fato com muito mais detalhe, já que há gradação dos valores, o que torna o resultado mais coerente com a realidade em questão, de modo a reduzir a perda de informações.

Por essa razão, a lógica fuzzy adequa-se a esse estudo, porque para o que não há certeza de pertinência ao conjunto fuzzy pode ser considerado em intervalos de 0 até 0,99.

Evidentemente, ao objetivar estimar a susceptibilidade à degradação ambiental no médio Jacuípe não se desejou superestimar a problemática atual, mas também não se desejou evidenciar apenas as áreas extremamente críticas, uma vez que se espera que o resultado desse trabalho possa inspirar intervenções para que se impeça a degradação ambiental total da área do médio Jacuípe, bem como sirva de instrumento didático para a educação ambiental.

Assim, a fim de evitar superestimar as áreas sob risco mais alto de ocorrência da degradação ambiental no médio Jacuípe, fez-se uma análise criteriosa das variáveis a serem utilizadas, adotando-se cuidados quanto aos diferentes valores máximos de pertinência ao conjunto fuzzy que lhe foram atribuídos, para que influenciassem de forma diferenciada no resultado, uma vez que nem todos os elementos considerados para a identificação das áreas mais ameaçadas no médio Jacuípe são exatos.

4.1 Variáveis ambientais e critérios para seleção de graus de pertinência fuzzy

4.1.1 Cobertura vegetal

A retirada e degradação da cobertura vegetal no médio Jacuípe estão diretamente

relacionadas ao processo de ocupação da área e das práticas agrícolas que aí se estabeleceram - notadamente a pecuária (RIOS, 2003; ARAUJO, 2010).

Como o objetivo dessa pesquisa não foi o de classificar a vegetação, optou-se por considerar – de modo generalista – como cobertura vegetal as áreas de vegetação original, secundária e agrícola. Ou seja, as áreas com cobertura vegetal mapeadas, embora reduzidas em relação às áreas sem cobertura vegetal, foram contabilizadas de forma ampla.

A classificação supervisionada da imagem do Landsat TM5, de fevereiro de 2008 – propositadamente escolhida no período seco - demonstrou que há um forte processo de desmatamento no médio Jacuípe, reduzindo-se muito as áreas com algum tipo de cobertura vegetal, mesmo considerando-se os cultivos agrícolas como cobertura vegetal.

A cobertura vegetal, de modo geral, desempenha importante papel no sistema natural e, embora os cultivos agrícolas permanentes não ofereçam vantagens em relação à questão biológica, corresponde a uma cobertura para o solo, diminuindo sua exposição. A Fig. 1 expõe o espaço ocupado pelas áreas com cobertura vegetal natural e agrícola e sem cobertura vegetal. O cálculo dessas áreas denuncia a imensidão do desmatamento, que corresponde percentualmente a 26% para áreas com algum tipo de cobertura vegetal e 74% para áreas sem cobertura vegetal.

Por essa razão, a variável cobertura vegetal, embora seja o representante direto da fisionomia ‘natural’ da paisagem, foi considerada como variável antrópica, uma vez que resulta da escolha humana de utilizar os elementos da natureza da forma que lhe convier, de modo que a paisagem artificializada, senão por elementos construídos, mas principalmente pela interferência humana na modificação da cobertura da terra, predomina no médio Jacuípe.

Destarte, atribuiu-se à variável cobertura vegetal o maior valor de pertinência ao conjunto *fuzzy* ($\mu(x)$) para susceptibilidade à degradação ambiental. Nesse sentido, as áreas sem cobertura vegetal foram categorizadas como muito susceptíveis à degradação ambiental, enquanto as áreas com cobertura vegetal foram consideradas minimamente susceptíveis, conforme demonstra

a tabela 1. O objetivo dessa escolha binária (sim ou não) para a variável cobertura vegetal foi evidenciar o papel dessa variável como principal indicador para susceptibilidade à ocorrência da degradação ambiental.

Tabela 1: Graus de pertinências fuzzy $\mu(X)$ – variável cobertura vegetal

C O B E R T U R A VEGETAL - Classes	$\mu(x)$ Valor máximo: 1,0
Áreas sem vegetação	1,0
Áreas com vegetação natural e agrícola	0,1

4.1.2 Áreas urbanas

Quanto às áreas urbanas, considerou-se sua influência imediata e até 5km, porque apesar de tratar-se de centros urbanos pouco desenvolvidos e fortemente atrelados ao campo, considera-se que há fatores que maximizam a intensificação do uso agrícola dos solos próximos aos centros urbanos, de modo que em trabalhos de campo, houve dificuldades de encontrar remanescentes de caatinga em áreas próximas aos centros urbanos. Deve-se considerar ainda que essas terras são valorizadas, com preços mais elevados que as terras mais distantes das áreas urbanas.

No conjunto, as sedes foram comparadas quanto à cobertura vegetal até 5km, a partir da geração de mapas de distância (buffers) sobre o mapa de cobertura vegetal, que foram recortados e na sequência transformados em raster (Fig. 2).

Os resultados foram tabulados numa planilha de dados, gerando o gráfico síntese da cobertura vegetal até 5km (Fig. 3), por sede dos municípios do médio Jacuípe.

Na comparação entre si - das áreas com cobertura vegetal até 5km - as cidades com menor cobertura vegetal são Nova Fátima e Pé de Serra, seguidas por Gavião (que é uma sede ribeirinha). Na sequência, encontra-se a ribeirinha Riachão e as sisaleiras Valente e Retirolândia. Com cobertura média em relação às demais cidades, encontra-se São Domingos que é também uma cidade sisaleira. Observa-se a discrepância de Capela, com cobertura vegetal significativa em relação às demais, superada apenas por São José, cuja cobertura vegetal marcante é a algaroba, que ocorre também nas ribeirinhas Gavião e Riachão.

Na análise individual, foram organizados

gráficos com os dados de cobertura vegetal de cada sede, em percentual, a fim de facilitar a escolha do valor a ser indicado para a pertinência ao conjunto fuzzy para estimativa da susceptibilidade à degradação ambiental no médio Jacuípe.

A fim de refinar a ponderação hierárquica

das variáveis não apenas pela comparação da cobertura vegetal até 5km, a partir do mapa de cobertura vegetal de 2008, recortou-se cada distância indicada no mapa de distâncias (de 1km a 5km, com intervalo de 1km) e realizou-se o cálculo das áreas de cobertura vegetal para cada distância.

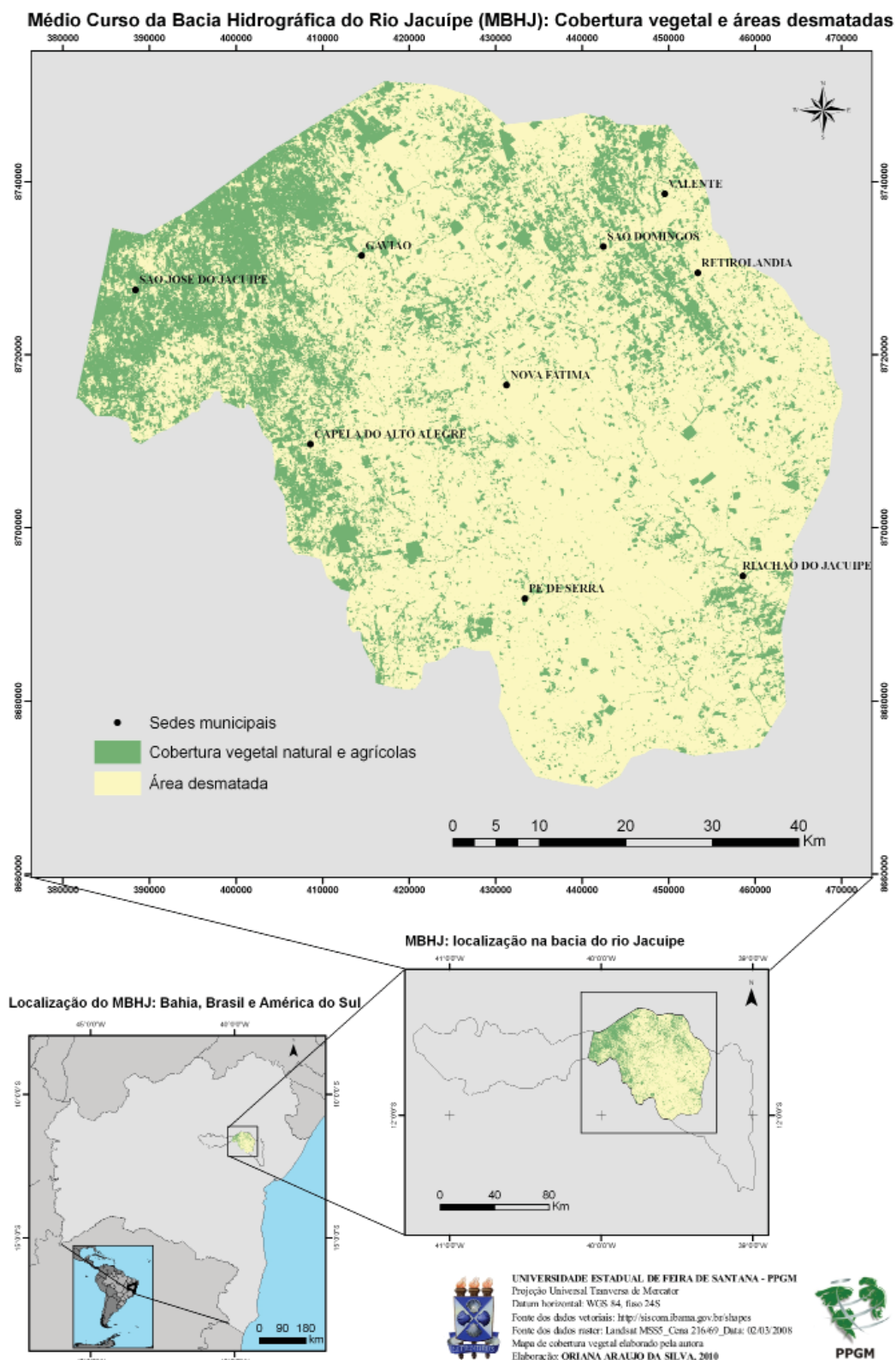


Fig. 1 - Mapa da cobertura vegetal no médio Jacuípe. Fonte: ARAUJO, 2010, p. 119.

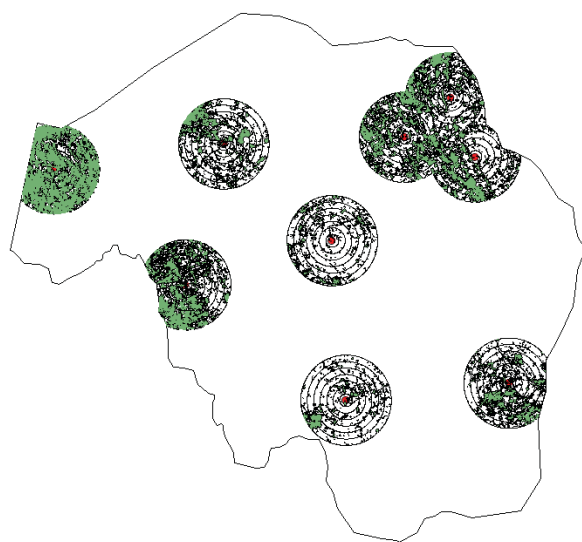


Fig. 2 - Distância sobre cobertura vegetal nas sedes do médio Jacuípe.

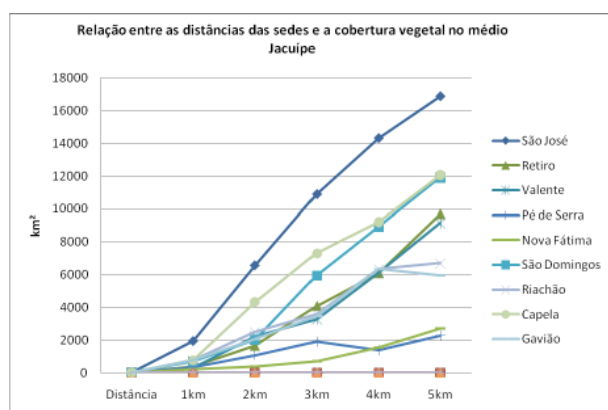


Fig. 3 - Relação entre as distâncias das sedes e a cobertura vegetal no médio Jacuípe.

A partir da análise dos dados, foram elaborados os seguintes critérios para atribuição do valor de pertinência fuzzy para as distâncias de cada sede municipal:

$\mu(x)$ máximo para cobertura até 1km igual ou menor que 5%

$\mu(x)$ máximo para cobertura até 2km menor que 10%

$\mu(x)$ máximo – 0,5 para cobertura até 2km maior que 10% e até 3km menor que 15%

$\mu(x)$ máximo -0,1 para cobertura até 3km maior que 15% até 4km maior que 25%

$\mu(x)$ máximo – 0,15 para cobertura até 4km maior que 25% e até 5km menor que 35%

$\mu(x)$ máximo – 0,20 para cobertura até 5km maior que 35%

Considerando a relação entre os gráficos com os percentuais de cobertura vegetal em cada distância, associados aos critérios acima

elencados, foram definidos os valores de pertinência ($\mu(x)$) de cada distância das sedes ao conjunto fuzzy de áreas susceptíveis à degradação ambiental no médio Jacuípe.

Dessa forma, conforme aponta a tabela 2, atribuiu-se maior valor de pertinência ao conjunto fuzzy para susceptibilidade à degradação ambiental, para as cidades que apresentaram menor cobertura vegetal e menor valor de pertinência para as cidades que apresentaram maior cobertura vegetal, de modo que São José do Jacuípe foi considerada com valor 0,5 de pertinência fuzzy, o que indica o maior grau de incerteza sobre essa área, visto que encontra-se no meio do conjunto, não pertencendo nem às áreas de maior susceptibilidade à degradação, nem às áreas de menor susceptibilidade ambiental.

Assim, as cidades que possuem menor área com cobertura vegetal foram ponderadas como as que estão mais potencialmente susceptíveis à degradação ambiental.

Tabela 2 - Graus de pertinências fuzzy $\mu(X)$ – variável cobertura vegetal.

SEDES MUNICIPAIS	$\mu(x)$
Nova Fátima	1,0
Pé de Serra	1,0
Gavião	0,9
Riachão	0,8
Valente	0,8
Retirolândia	0,75
São Domingos	0,65
Capela do Alto Alegre	0,6
São José do Jacuípe	0,5

4.1.3 Solos e declividade

Sabe-se que a relação entre a cobertura vegetal, o solo e a declividade é determinante no processo erosivo. Em estudo numa área semiárida do Ceará, Oliveira (1984) considerou a cobertura vegetal como primordial na atenuação da erosão, considerando que sem cobertura vegetal perene a taxa de erosão (cm/ano) é de 0,505 cm/ano, enquanto em áreas com 50% de cobertura vegetal, a taxa cai para 0,028 cm/ano.

Ponderando-se que no médio Jacuípe existem diversas áreas que sofreram redução quase total da cobertura vegetal, desde 1973 a 2008, pode-se inferir que houve grande perda de

solo ao longo dessa décadas.

Deve-se observar, contudo, que a escala do mapeamento dos solos utilizada foi fornecida pelo Ministério do Meio Ambiente, tratando-se de uma escala pequena, de menor detalhe; assumiu-se utilizá-la, porque esse estudo está sendo realizado numa escala média, de aproximadamente 1:500.000 e não havia condição de realizar um mapeamento mais detalhado dos solos.

Foram identificadas quatro classes no mapa de solos: Neossolos regolíticos e litólicos, Planossolo e Latossolo. De acordo com o IBGE (2005), os neossolos são solos jovens, em início de formação, constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso, sendo, portanto pouco desenvolvidos (menos de 30 cm de espessura), sem apresentar qualquer tipo de horizonte B, podendo ainda ser arenosos. A essa classe de solos, atribuiu-se maior grau de pertinência ao conjunto fuzzy, por considerá-la mais susceptíveis à erosão.

Quanto aos Planossolos, estão mais relacionados a áreas planas, horizontalizadas, sendo geralmente solos desenvolvidos com encharcamento superficial estacional. Por serem vulneráveis à erosão laminar, atribui-se grau de pertinência duvidosa ao conjunto fuzzy para essa classe, no intuito de correlacioná-la à declividade, evitando superestimá-la.

Já o Latossolo vermelho amarelo distrófico representa solos um pouco mais desenvolvidos, de material altamente alterado; considerou-se que essa classe de solo, no contexto analisado, é um pouco mais resistente à erosão, atribuindo-lhe peso 4.

A tabela 3 sintetiza a atribuição de graus de pertinência máximos para cada classe de solo utilizada.

Tabela 3: Graus de pertinências fuzzy $\mu(X)$ – variável solos

SOLOS Classes	$\mu(x)$ Valor máximo: 0,7
NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos (RLe)	0,7
NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos (RRe)	0,6
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (SXen)	0,5
LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico (LVAd)	0,4

Quanto à declividade, o mapa original é mais confiável e de escala mais adequada, já que foi derivado do Modelo Digital de Terreno (MDT), que auxiliou a delimitar a área do médio Jacuípe.

Valeriano (2008, p. 86) assim definiu a declividade: “A declividade é o ângulo de inclinação da superfície local em relação ao plano horizontal. Pode ser expressa em graus ou em porcentagem.”

A declividade é uma importante variável no âmbito dos estudos ambientais, uma vez que influencia a interação entre as chuvas, os solos, a infiltração, o escoamento superficial da água.

Para categorizar a declividade, utilizou-se a proposição de Florenzano (2008, p.119) para a classificação morfológica do relevo:

Muito baixa (< 2°);

Baixa (2° a 6°);

Média (6° a 20°).

No caso do médio Jacuípe, conforme demonstrou o MDT e o mapa hipsométrico daí derivado, predominam altitudes muito baixas (menor que 550m), de modo que a declividade máxima é 8°, contudo, predomina na área a declividade acima de 6,5°.

Considerando que há predominância do Planossolo no médio Jacuípe, pode-se afirmar que a principal contribuição para a susceptibilidade à degradação ambiental dessa ‘baixa’ declividade geral diz respeito à erosão laminar ou em lençol, que embora trate-se de um tipo de erosão mais difícil de identificar ocorre no médio Jacuípe, devido à combinação de áreas sem cobertura vegetal, solos do tipo Planossolo e declividade média (acima de 6,5°).

Nesse sentido, atribuiu-se 70% de pertinência máxima ao conjunto fuzzy para as áreas com declive entre 8° e 9°, declinando a pertinência de acordo com a diminuição da declividade, conforme aponta a tabela 4.

Tabela 4: Graus de pertinências fuzzy $\mu(X)$ – variável declividade

DECLIVIDADE Classes (°)	$\mu(x)$ Valor máximo: 0,7
8,0 – 9,0	0,7
7,0 – 8,0	0,65
6,0 – 7,0	0,60
4,5 – 6,0	0,55
3,0 – 4,5	0,5
1,5 – 3,0	0,5
0 – 1,5	0,5

4.1.4 Estradas

Quanto às estradas e suas áreas de influência, sabe-se que são importantes redes técnicas - objetos artificiais fixos - que provocam diversos efeitos nas paisagens e áreas sob sua influência, a exemplo dos citados por Casteletti et al. (2005, p.720) :

“Modificações no comportamento dos animais devido à construção e manutenção das estradas, mortalidade por atropelamento, alterações na vegetação, facilidade de propagação de fogo, alterações no ambiente químico, modificações no ambiente físico, expansão de espécies exóticas e modificações no uso humano da terra e da água (Trombulak & Frissell, 2000).”

Nesse sentido, os autores estimaram que a largura da zona de efeito da estrada, em sua área de estudo (ambiente de caatinga), seria de 7km e aplicaram essa faixa de influência a outras faixas, testando essa variável.

Bueno et al. (2009), destacaram a construção de estradas e expansão de cidades como vetores de desflorestamentos, mas alertaram que apesar de terem considerado as estradas de modo indiscriminado, os trabalhos que visem mensurar mais adequadamente a zona de influência das estradas devem classificá-las hierarquicamente. No seu estudo, constataram que a área de influência mais significativa das estradas foi de 2km.

Ao considerar o fator estrada como propulsor de degradação ambiental, deve-se avaliar o que indicou o DERBA (2010) a respeito da faixa de domínio, que consiste na área de utilidade pública em torno das rodovias, que deve ser de 60m – 30m para cada lado a partir do eixo da rodovia, acrescidos de mais 15m de cada lado – que corresponde à faixa “non-aedificandi”, na qual não é permitida a construção, exceto com autorização dos órgãos responsáveis.

Devido ao fato de que o Médio Jacuípe é cortado por diferentes estradas, tanto federais (BR) como estaduais (BA), com diferentes tipos de pavimentação, foi necessário considerar a importância relativa e diferenciada de cada tipo de estrada.

A Fig. 4 apresenta a comparação entre os três tipos de estradas, possibilitando o estabelecimento de valores máximos iguais para BR324 e as BAs/BRs pavimentadas,

indicando uma pertinência maior ao conjunto fuzzy de suscetibilidade à degradação ambiental no entorno dessas vias até 1km, enquanto para as BAs/BRs implantadas não pavimentadas, atribuiu-se um valor menor de pertinência ao conjunto fuzzy, visto que apresentam um pouco mais de cobertura vegetal até 1km e nas demais distâncias. Nota-se, portanto, que as estradas não pavimentadas do médio Jacuípe causam menos impacto à cobertura vegetal do que as estradas pavimentadas.

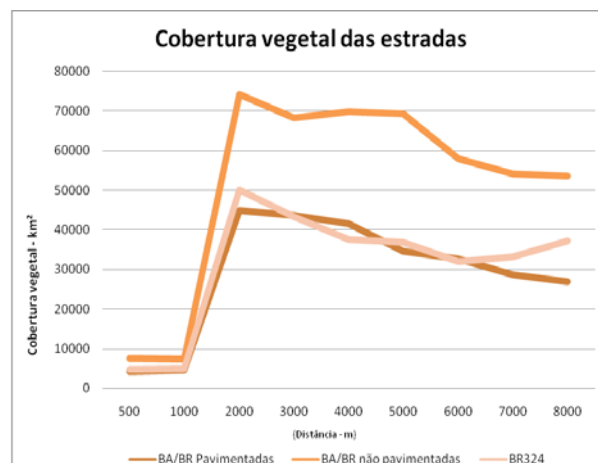


Fig. 4 - Comparação da cobertura vegetal das estradas do médio Jacuípe (km²).

Realizou-se o cálculo das áreas com cobertura vegetal em cada distância considerada para a identificação da zona de influência das estradas no que tange à degradação ambiental.

De forma análoga ao que ocorre com a zona de influência da BR324, as demais estradas, mesmo as implantadas e não pavimentadas possuem menos cobertura vegetal até 1km (apenas 5% do total), aumentando sensivelmente a área com cobertura vegetal em 2km para 17%, seguida de 3km e 4km com 16% de cobertura vegetal. Observa-se um decréscimo progressivo a partir de 5km (13% de cobertura vegetal), de 6km (12% de cobertura vegetal), seguido de 7km e 8km, com 11% e 10% de cobertura vegetal, respectivamente.

A análise individual dos dados até 1km demonstrou que há maior desmatamento até 100m das estradas não pavimentadas.

Nesse sentido, os valores de pertinência ao conjunto fuzzy atribuídos para a variável estradas não pavimentadas (BA/BR), seguiram a análise da relação da cobertura vegetal por distância.

A partir desses indicadores, foram atribuídos os valores de pertinência fuzzy a cada distância considerada, conforme o exposto nas tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5: Graus de pertinências fuzzy μ (X) - variável ba/br pavimentadas

BA/BR pavimentadas Classes/distância (m)	μ (x) 0,8
0-100	0,8
100-1000	0,7
2000	0,5
3000	0,5

Tabela 6. Graus de pertinências fuzzy μ (X) – variável ba/br não pavimentadas

BA/BR não pavimentadas Classes/distância	μ (x) 0,7
0 – 100	0,7
100-1000	0,6
1000-2000	0,5

Tabela 7. Graus de pertinências fuzzy μ (X) – variável BR324.

BR 324 Classes/distância	μ (x) 0,8
0-50m	0,8
50 – 1000m	0,7
1000 - 2000	0,5
2000 - 3000	0,5

4.1.5 Hidrografia

Considerando-se o fato de que a drenagem da bacia do rio Jacuípe é efêmera nos riachos e intermitente apenas no curso principal (rio Jacuípe) e do seu principal afluente – o rio Sacraiu, foram testadas as zonas de influência do Jacuípe e do Sacraiu para a cobertura vegetal, em intervalos de 200m, até 2000m.

Esses cursos hídricos têm seu entorno utilizados principalmente para a instalação de pastagens, com vistas à dessedentarização dos animais nos períodos que possuem água, além de aproveitar os poços naturais que se mantêm nos períodos secos.

Mais próximo às margens, outro uso corrente é a extração de argila para a fabricação de blocos e telhas para a construção civil, contudo nesse estudo, esse uso – por ser pontual, não foi passível de mapeamento.

No rio Jacuípe, constatou-se que há mais cobertura vegetal na área até 200m (16%) e até 400m (12%), se forem considerados o conjunto da cobertura vegetal até 1,8km, conforme indica a Fig. 5. Entretanto, sabe-se que tal cobertura corresponde em grande parte à algaroba, que tem recomposto a mata ciliar no médio Jacuípe. Além disso, nas áreas até 200m ocorre em vários pontos do rio Jacuípe a retirada de argila.

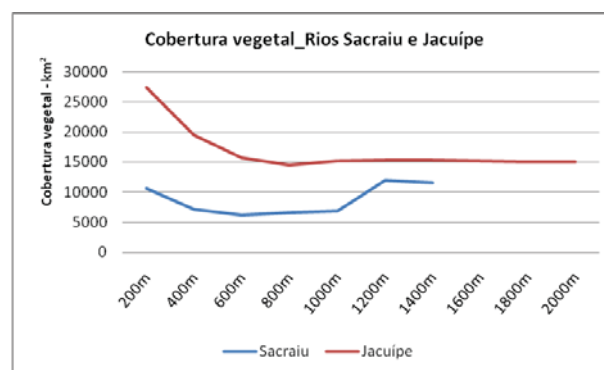


Fig. 5 - Percentual de cobertura vegetal em relação às distâncias dos rios Sacraiu e Jacuípe.

Constatou-se que há um pouco mais de cobertura vegetal até 400m do leito principal, havendo certa homogeneização na quantidade de cobertura a cada 200m a partir daí, de modo que dos 600m a 2,0km, com intervalos de 200m, a cobertura vegetal mantém-se mais ou menos proporcional nessas áreas (com aproximadamente 9% de cobertura vegetal), o que indica o declínio da cobertura a partir dos 600m, uma vez que em 400m de distância ainda se encontra 12% de cobertura vegetal. Esse fato pode ser explicado tanto pelo acréscimo das algarobas nas áreas próximas ao leito, como pelo uso preferencial das terras próximas à bacia de inundação do rio para implantação de pastagens (no caso das áreas sem cobertura vegetal).

Por essa razão, embora a variável cobertura vegetal possa ser quantificada, não foi a única considerada para indicar os valores de pertinência fuzzy (Tabela 8) que cada distância do rio Jacuípe tem em relação à susceptibilidade à degradação ambiental. Pode-se então afirmar que as áreas de até 2km do rio Jacuípe pertencem ao conjunto das áreas susceptíveis de ocorrer a degradação ambiental.

Quanto ao rio Sacraiu, a Fig. 5 demonstra o percentual de cobertura vegetal em cada distância considerada, a fim de atribuir graus

de favorabilidade à ocorrência da degradação ambiental (pertinência fuzzy), a partir do indicador cobertura vegetal. Contudo, embora não se possa mensurar estatisticamente, as áreas de mineração foram associadas às distâncias de até 200m do rio Sacraiu, embora no conjunto da cobertura vegetal até 1,8km, essas áreas contenham 17% da cobertura vegetal. Sabe-se ainda que uma parte dessa cobertura não corresponde à vegetação nativa, mas sim à algaroba, que tem dispersado pelo médio Jacuípe.

A análise individualizada dos dados demonstrou que há menos cobertura vegetal dos 400 aos 1000m, área utilizada como máxima influência do rio Sacraiu para a susceptibilidade à degradação ambiental, uma vez que a partir dos 1000m começa a haver acréscimo de cobertura vegetal. Esse fato pode estar relacionado à diminuição das pastagens e o aumento de algum cultivo agrícola.

Tabela 8: Graus de pertinências fuzzy $\mu (X)$ – variável Rio Jacuípe

Rio Jacuípe Classes/distâncias	$\mu (x)$
0 – 200m	0,85
200- 600m	0,83
600-800m	0,79
800-1000m	0,76
1000-2000m	0,72

Assim, o valor atribuído a cada buffer do rio Sacraiu (pertinência fuzzy), relacionou-se diretamente ao percentual de cobertura vegetal contido, conforme demonstra a tabela 9.

Quanto ao valor máximo de pertinência fuzzy atribuído à variável ‘rio Sacraiu’, determinou-se que corresponde a 0,75 porque trata-se de um rio secundário, com menor extensão que o Jacuípe e, portanto, com menor área de influência em relação ao primeiro.

Tabela 9 - Graus de pertinências fuzzy $\mu (X)$ – variável Rio Sacraiu

Rio Sacraiu Classes/distâncias	$\mu (x)$
0 – 200m	0,70
200- 600m	0,72
600-800m	0,68
800-1000m	0,65

4.1.6 IDH

O IDH dos municípios do médio Jacuípe é, de modo geral, muito baixo: variando entre 0,344 a 0,491. Assim, embora se trate de uma generalização, as práticas agrícolas tendem a ser tradicionais e a perspectiva de qualidade ambiental, calcada na idéia de manutenção do funcionamento do sistema natural e no desenvolvimento de atividades sustentáveis, são dificultadas pelo baixo nível de escolaridade, de qualificação técnica e de capacidade de investimento da população.

Considerou-se que a variável IDH, por não ser exata, mas uma aproximação por inferência e conhecimento relativo sobre a área, deve ter peso 5 dentre as variáveis consideradas, não devendo ser desprezada.

Nesse sentido, atribuíram-se os valores indicados na tabela 10 às classes de IDH. Deve-se ponderar que ao considerar o peso 5 para a variável IDH, o valor 0,5 indica as classes mais suscetíveis à ocorrência da degradação ambiental considerando-se que se trata do IDH mais baixo, decrescendo a chance para 30%, nas demais classes, uma vez que de modo geral o IDH é muito baixo nos municípios pesquisados.

Tabela 10: Graus de pertinências fuzzy $\mu (X)$ – variável IDH

IDH Classes	$\mu (x)$
0,344 - 0,402	0,6
0,402 - 0,435	0,55
0,435 - 0,448	0,5
0,448 - 0,491	0,45

5. INTEGRAÇÃO DAS VARIÁVEIS POR INFERÊNCIA FUZZY

As evidências que constituíram o conjunto fuzzy para estimativa da susceptibilidade à degradação ambiental foram combinadas a partir de operadores fuzzy diferenciados, de acordo com o objetivo que se tinha para cada uma. Dessa forma, para definir o mapa de evidência fuzzy para as distâncias das cidades que mais contribuem para a degradação da cobertura vegetal, fez-se a combinação das diferentes cidades. Para isto utilizou-se o operador fuzzy SUM, cuja representação matemática é:

$$\mu = 1 - \prod(1-\mu_i)$$

Esse operador constitui-se numa soma em que todos os valores de pertinência de cada mapa é multiplicado pelas evidências dos demais mapas, de modo que todas as pertinências máximas são consideradas. Nesse sentido, o mapa fuzzy de cidades refletiu o que havia sido indicado nos graus de pertinência individuais (Fig. 6).

Os diferentes mapas de estradas foram associados pelo operador fuzzy OR, que expressa-se pela seguintes fórmula:

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

Silva (2003, p. 200) indicou que “O operador <fuzzy OR> controla os arquivos de saída a partir do maior valor do membro fuzzy, o que torna a análise com este operador mais otimista.”

Dessa forma, objetivou-se unir, como ocorre em operações booleanas, os valores máximos dos mapas de entrada. O resultado da união das estradas é demonstrado na Fig. 7.

De forma análoga ao procedimento realizado para as estradas, os mapas de evidência fuzzy de hidrografia – rios Jacuípe e Sacraiu – foram combinados a partir da operação OR. A operação realizada consiste numa operação algébrica simples de combinação dos atributos, uma vez que, conforme discute Borges (2005), a função OR considerará verdadeira (1) a sentença sempre que qualquer um dos valores de entrada seja verdadeiro (1).

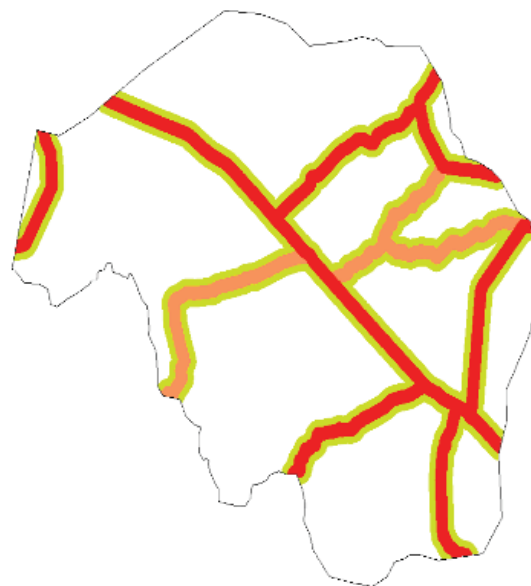


Fig. 7– Evidência fuzzy – estradas.

Nesse sentido, o resultado da combinação das variáveis hidrografia, manteve os diferentes valores de pertinência para cada rio, bem como a diferença das distâncias de suas áreas de influência, como aponta a Fig. 8.

A fim de sintetizar as evidências que susceptibilizam o médio Jacuípe à degradação ambiental, após serem testados diversos operadores, optou-se pelo operador <fuzzy SUM>, que demonstrou um resultado mais fidedigno às subjetividades que não foram possíveis de indicar nos valores de pertinência fuzzy. Exemplo disso diz respeito às áreas de cobertura vegetal mais densa, situadas nas proximidades de rios e de estradas; levando-se em conta que não houve separação dos tipos de

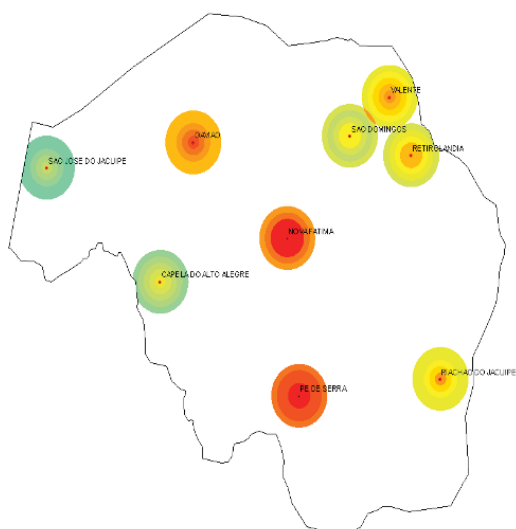


Fig. 6 - Evidência fuzzy – sedes.



Fig. 8 - Evidência fuzzy – hidrografia.

cobertura vegetal e sabendo-se que ter cobertura vegetal em relação a não ter seja um ganho ambiental, não se pode dizer que é o melhor para o sistema natural, bem como para a qualidade de vida a ele relacionado.

O operador <fuzzy SUM> evidencia as áreas com valor máximo de pertinência ao conjunto fuzzy. É representado pela seguinte fórmula:

$$\mu = 1 - \Pi(1-\mu_i)$$

Nesse estudo apresentou melhor resultado porque os valores máximos de pertinência foram atribuídos com base nos dados obtidos pela análise das áreas de cobertura vegetal em cada mapa de distâncias, que produziu um resultado muito mais apurado em relação aos primeiros testes de identificação da susceptibilidade à degradação ambiental apoiados apenas no conhecimento que se tem da área e da consulta a especialistas. Por essa razão e por reconhecer a relativização dessas questões no operador <fuzzy SUM>, optou-se por esse resultado.

A Fig. 9 sintetiza a integração dos mapas fuzzy utilizada para organizar os mapas de evidência fuzzy.

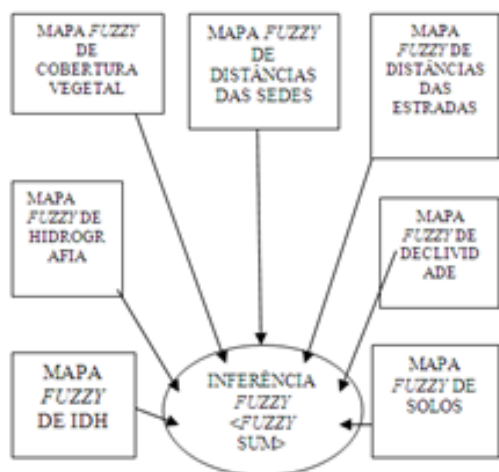


Fig. 9 - Integração dos mapas de evidência fuzzy

6. ESTIMATIVA DE SUSCEPTIBILIDADES À DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO MÉDIO JACUÍPE

A partir do uso do interpolador fuzzy SUM para as variáveis cobertura vegetal, áreas urbanas, solo, declividade, estradas, hidrografia e IDH, confeccionou-se o mapa de susceptibilidade à degradação ambiental no

médio Jacuípe (Fig. 10).

Os níveis de susceptibilidade à degradação ambiental, de modo geral, podem ser assim caracterizados:

1. ALTA: As áreas identificadas com alta susceptibilidade à degradação ambiental são as que combinam diversas variáveis que potencializam seu risco à degradação. Assim, devem ser áreas prioritárias para a implantação de projetos de educação ambiental e de reflorestamento, uma vez que estão sob risco alto da ocorrência de perda de diversidade biológica, exposição dos solos, maximização da erosão laminar, remoção dos horizontes superficiais do solo; ou ainda, essas áreas podem apresentar algum tipo de cobertura vegetal, mas estar numa área potencial para a ocorrência da degradação ambiental devido, por exemplo, à combinação de fatores como proximidade de estradas, de sedes municipais e de rios.

2. MODERADAMENTE ALTA: Essas áreas estão sob risco elevado de sofrerem degradação ambiental sob os mesmos aspectos indicados para as áreas de alta susceptibilidade, embora combinem menos elementos potencializadores do que estas.

3. INTERMEDIÁRIA: As áreas de susceptibilidade intermediária à ocorrência de degradação ambiental combinam menos fatores agressores ao meio ambiente que as áreas de susceptibilidade alta e moderadamente alta, mas ocorre aí também perda significativa de cobertura vegetal e suas conseqüências.

4. MODERADAMENTE BAIXA: As áreas de susceptibilidade à degradação ambiental moderadamente baixa apresentam, de modo geral, um pouco mais de cobertura vegetal que as de susceptibilidade alta, moderadamente alta e intermediária, bem como tendem a encontrar-se um pouco mais distantes das áreas urbanas, dos rios e das estradas principais. São áreas com potencial para a realização de estudos botânicos com vistas à identificação de caatinga original e secundária, para o estabelecimento de unidades de conservação. Entretanto, semelhante ao que ocorre com as áreas de baixa susceptibilidade à degradação ambiental, deve-se considerar que parte da cobertura vegetal dessas áreas é de algaroba, de forma que projetos alternativos de manejo dessa espécie oportunista podem ter sucesso nessas áreas.

Médio Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe (MBHJ): Susceptibilidade à Degradação Ambiental

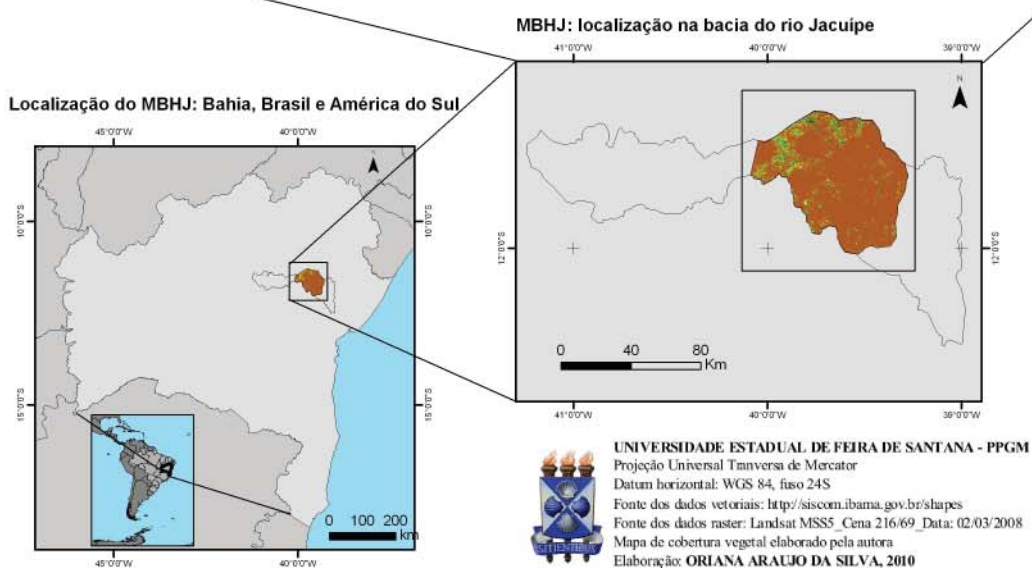
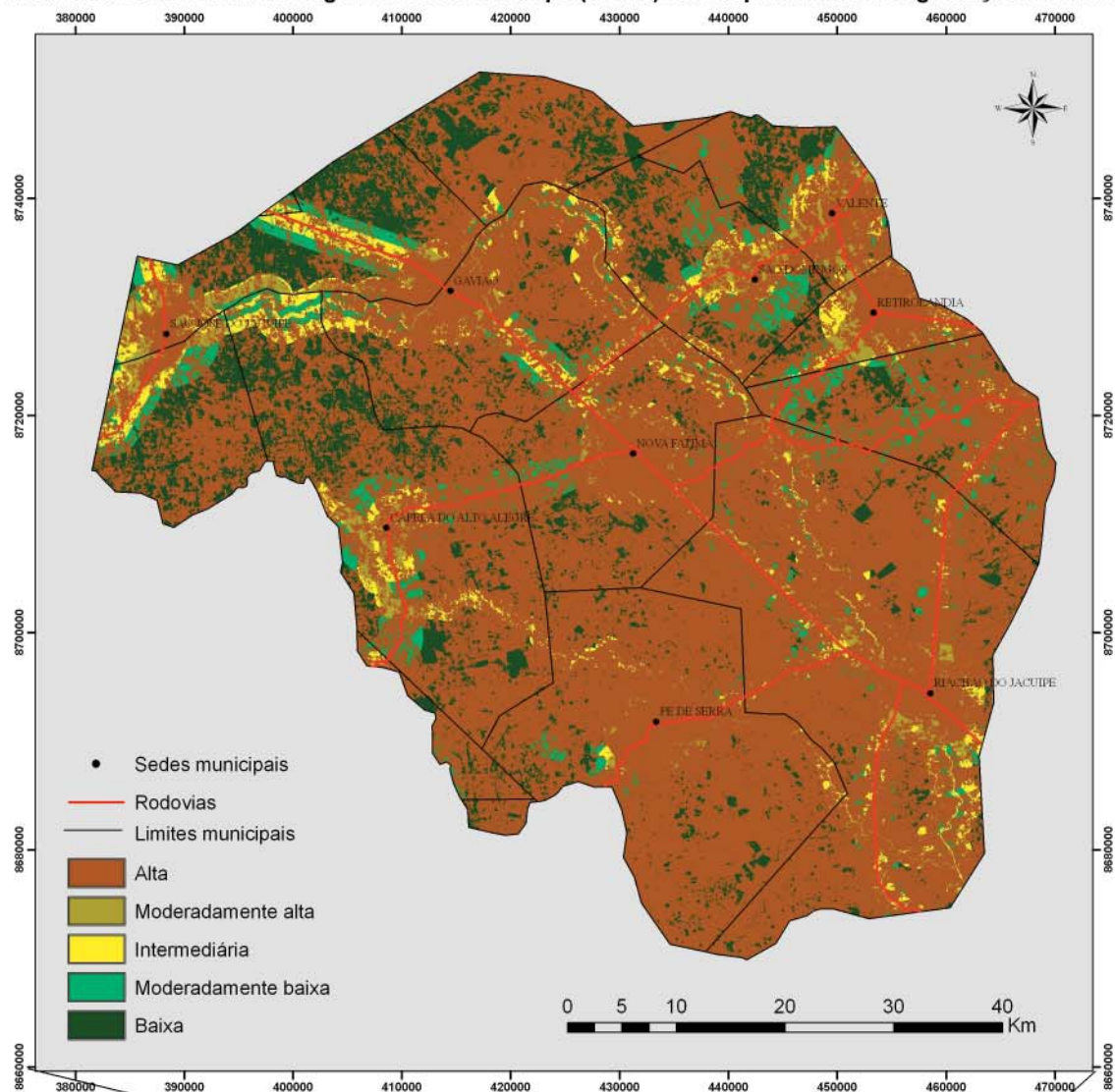


Fig. 10 - Mapa de susceptibilidade à degradação ambiental do médio Jacuípe

6. BAIXA: As áreas de susceptibilidade baixa à degradação ambiental são aquelas que possuem o menor número de elementos agressores ao sistema natural, conforme optou-se nesse trabalho. São áreas com grande potencialidade à ocorrência de cobertura vegetal original e indica-se que sejam realizados estudos prioritários nessas áreas para o estabelecimento de unidades de conservação. Entretanto, como se atribuiu nesse estudo forte peso à cobertura vegetal, salienta-se que parte dessas áreas estão recobertas em verdade por algaroba e, nesse sentido, essas áreas devem ser priorizadas para a implantação de projetos de manejo da algaroba e de reflorestamento da caatinga.

Realizou-se o cálculo de áreas a fim de quantificar a informação já espacializada no mapa (Fig. 11), estimando os seguintes níveis e percentuais de degradação ambiental no médio Jacuípe: alta (80%), moderadamente alta (2%), intermediária (3%), moderadamente baixa (4%) e baixa (11%).

A análise do mapa demonstra que, de modo geral, a área central do médio Jacuípe e principalmente os municípios de Riachão do Jacuípe, Nova Fátima, Pé de Serra e Gavião, possuem alta susceptibilidade à degradação ambiental.

Os municípios de São José e Capela apresentam significativas áreas de susceptibilidade baixa e moderadamente baixa à degradação ambiental, mas a principal proteção dos solos nesses municípios é a algaroba, havendo de qualquer forma degradação da caatinga. Já os municípios de São Domingos e Valente apresentam forte variação de susceptibilidade, especialmente pela ocorrência de densos sisalais, enquanto no município de Retirolândia a susceptibilidade alta, moderadamente alta e intermediária predominam – embora ocorram sisalais também nesses municípios.

Em trabalhos de campo, foi possível confirmar a veracidade da estimativa realizada, uma vez que o teste com o uso de coordenadas geográficas dos pontos mapeados indicaram que a hierarquização proposta para os níveis de susceptibilidade à degradação ambiental estão coerentes com os aspectos das paisagens encontrados em campo, comprovando a eficácia da proposta metodológica aqui discutida.

7. CONCLUSÃO

Esse artigo abordou o médio curso, que corresponde a 38% da área total da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe (BHJ) para estimar a susceptibilidade à degradação ambiental, a partir da integração de variáveis socioambientais. Devido à complexidade dos sistemas socioambientais e à magnitude da área de pesquisa, realizou-se a modelagem de dados espaciais, combinados pela técnica de inferência espacial fuzzy.

O médio curso da BHJ constitui-se numa área core do semi-árido brasileiro e do domínio morfoclimático da caatinga, segundo os pressupostos de Ab'Sáber (2003).

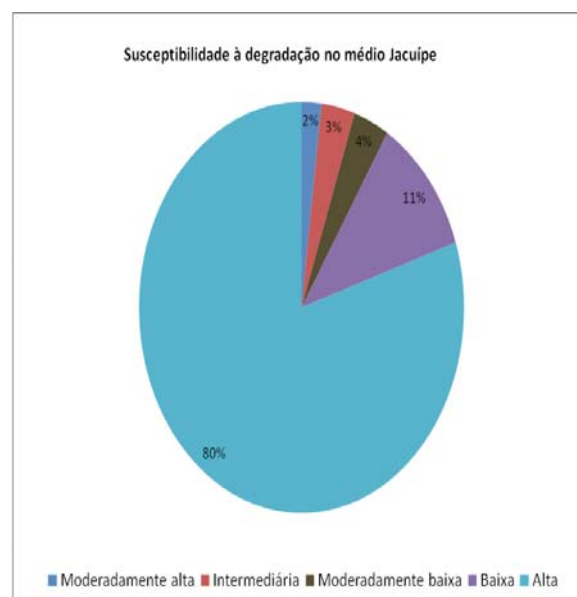


Fig. 11 - Percentual das áreas susceptíveis à degradação ambiental.

Foram elaboradas cartas imagens, a partir de Processamento Digital de Imagens (PDI), para identificar a evolução do desmatamento no médio Jacuípe e encontrar elementos propulsores da degradação ambiental, a fim de mensurar a sua importância relativa, associada a características naturais, como solo e declividade.

Elaborou-se um mapa de cobertura vegetal do ano de 2008, propositadamente escolhido por ser um ano seco, uma vez que o déficit hídrico deixa a degradação ambiental mais visível.

Constatou-se que mesmo considerando como cobertura vegetal a vegetação natural (caatinga), secundária, os cultivos agrícolas (sisal e palma) e as áreas de ocorrência de algaroba (*Prosopis juliflora*), apenas 26% da área

do médio Jacuípe possui algum tipo de cobertura vegetal, enquanto 74% da área está desmatada, devido à instalação de pastagens, que encontram-se de modo geral muito degradadas, expondo quase completamente o solo no período seco.

Por essa razão, a presença ou ausência da cobertura vegetal foi utilizada como principal indicador antrópico, uma vez que reflete o processo de interações do homem com a natureza ao longo do tempo sobre a cobertura da terra.

Assim, estimou-se a zona de influência das cidades, das estradas e dos rios sobre a cobertura vegetal, a partir do recorte e cálculo das áreas de cobertura em distâncias específicas para cada variável, com o objetivo de atribuir-lhes graus diferenciados de pertinência ao conjunto dos indicadores de maior susceptibilidade à degradação ambiental, baseado nos dados e no conhecimento que se tem da área.

Devido a existência de incertezas e de ambigüidades que são características das abordagens ambientais, realizou-se a combinação das variáveis por inferência espacial fuzzy, adequada a esse tipo de pesquisa (SILVA, 2003; BOHAM-CARTER, 1998).

A susceptibilidade à degradação ambiental no médio Jacuípe foi estimada em 5 níveis: alta (80%), moderadamente alta (2%), intermediária (3%), moderadamente baixa (4%) e baixa (11%).

Dessa forma, além de demonstrar a possibilidade de ocorrência de degradação ambiental na maior parte do médio Jacuípe, especialmente na área central e nos municípios de Riachão do Jacuípe, Pé de Serra, Nova Fátima e Gavião, que estão mais diretamente associados às pastagens extensivas, muito desnudas – evidenciou-se que essas áreas são as que mais necessitam de ações imediatas de gestão e educação ambiental, evitando que a possibilidade de degradação ambiental diagnosticada ocorra e conduza a processos de desertificação no futuro.

As áreas indicadas como de baixa susceptibilidade à degradação ambiental são áreas potenciais para a identificação de caatinga e possibilidade de implantação de Unidades de Conservação, bem como para o monitoramento da algaroba e de sisalais, que também ocorrem nessas áreas. Ou seja, nessas áreas é necessário ampliar a escala do mapeamento, para elaborar mapas de cobertura mais detalhados. Bons exemplos dessa situação foram encontrados nos

municípios de São José e Capela, nos quais o que preocupa é o avanço da cobertura vegetal devido à expansão de algarobas, decorrente do desequilíbrio do sistema natural e da preferência dos fazendeiros. A algaroba é uma espécie oportunista que tem ocupado diversas áreas do médio Jacuípe e tem sido bem tolerada pela população por servir de fonte de alimentação para os rebanhos e até mesmo de fonte de renda a partir da venda da vagem. Nesse sentido, o que preocupa é a possibilidade da algaroba vir a se tornar uma invasora difícil de controlar e avance sobre a caatinga já tão incipiente no médio Jacuípe.

Entretanto, enquanto pouco se faz seriamente a respeito da necessidade de manutenção, recuperação e reflorestamento das matas ciliares naturais no médio Jacuípe e da caatinga em toda a área, deve-se considerar que é preferível que se tenha algaroba em lugar de solo exposto, como se observou no setor Oeste-Noroeste do médio Jacuípe, que aponta um ganho de biomassa de 1997 a 2008, devido à algaroba.

Nos municípios onde a cobertura vegetal predominante é o sisal, as áreas de maior susceptibilidade à degradação ambiental encontram-se próximas às sedes municipais, mas há também áreas sob alta susceptibilidade, principalmente as que se relacionam à pecuária extensiva. Assim, embora as cidades sejam de pequeno e médio porte no médio Jacuípe, ficou evidente a sua influência na degradação ambiental, especialmente até 3km.

Além disso, conforme ficou evidenciado, a degradação ambiental no médio Jacuípe decorre das ações humanas, das concepções de natureza e das práticas agrícolas predatórias que predominam nessas áreas, associadas a certa inércia da sociedade e do poder público no que tange ao planejamento e gestão ambiental. Nesse sentido, os resultados dessa pesquisa podem ser úteis à educação ambiental com vistas à mitigação da degradação ambiental.

Portanto, considera-se mais do que necessário o estabelecimento de estudos mais específicos em diversos trechos do médio Jacuípe, com vistas ao levantamento do potencial ecológico das áreas, a exemplo das áreas identificadas como de baixa susceptibilidade à degradação ambiental, para fins de estabelecimento de algum

tipo de Unidade de Conservação, para que de fato, as gerações futuras possam vir a conhecer a caatinga original ou sucessional.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado da Bahia (FAPESB) e à Secretaria de Recursos Hídricos da Bahia, pela concessão de bolsa de estudos e financiamento da pesquisa, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, O. **Mapeamento do uso do solo no médio curso da bacia do rio Jacuípe utilizando geotecnologia**. Feira de Santana: UEFS, 2006. (monografia de especialização). 67p.

ARAUJO, O. **Médio curso da bacia do rio Jacuípe, Bahia**: proposta metodológica para estimativa de susceptibilidade à degradação ambiental. Feira de Santana: PPGM/UEFS, 2010. (Dissertação de mestrado). 172p.

BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Canadá: Pergamon, 1998. 398p.

BORGES, K. A. V.; DAVIS Jr., C. A.; LAENDER, A. H. F. Modelagem conceitual de dados geográficos. In: CASANOVA, M.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. de. **Bancos de Dados Geográficos**. Mundo Geo: Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/cap3.pdf>. Acesso em 30/07/2008. 83-136p.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. The Web Book of Regional Science, Regional Research Institute, West Virginia University. Disponível em: <http://www.rr.i.wvu.edu/WebBook/>. (Livro on line), 2000. Acesso em 15/09/2008. [ebook; s/p.].

BUENO, J.; COSTA, A.; FELIPPE, M. F. Influência das sedes municipais e rodovias no desmatamento da Bacia do Mucuri (MG) a partir de imagens Cbers 2. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2629-2636.

CASTELLETTI, C. H. M., MELO, A. M., SANTOS, M. T., SILVA, J. M. C. Quanto ainda resta da caatinga? Uma estimativa preliminar. In:

LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. da. **Ecologia e conservação da caatinga**. 2ª ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. Cap. 18, p. 719-734.

CÂMARA, G. **Modelagem de dados em geoprocessamento**. São Paulo, 1995. (Cap. da tese de doutorado). Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/dpi/teses/gilberto/cap4.pdf>. Acesso em 12/09/2008. Cap. 2, p. 1- 35.

CÂMARA (a), G.; BARBOSA, C.; CORDEIRO, J. P.; LOPES, E.; FREITAS, U. M. de; LUCENA, I. Álgebra de mapas. In: CÂMARA, G. e DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. Livro on line. Disponível em: www.dpi.inpe.br/livro/intro/index.html. Acesso em 04/07/2004. [ebook; s/p.].

CÂMARA (b), G.; BARBOSA, C.; CORDEIRO, J. P.; LOPES, E.; FREITAS, U. M. de; LUCENA, I. Operações de análise geográfica. In: CÂMARA, G. e DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. Livro on line. Disponível em: www.dpi.inpe.br/livro/intro/index.html. Acesso em 04/07/2004. [ebook; s/p.].

CÂMARA (c), G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; ALMEIDA FILHO, R.; BONISCH, S. Técnicas de inferência geográfica. In: CÂMARA, G. e DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. Livro on line. Disponível em: www.dpi.inpe.br/livro/intro/index.html. Acesso em 04/07/2004. [ebook; s/p.].

CHORLEY, R.J.; HAGGETT, P. Modelos, Paradigmas e a Nova Geografia. In: CHORLEY, R.J.; HAGGETT, P. (Orgs). **Modelos físicos e de informação em geografia**. Traduzido por MEDEIROS, A. V. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos/ São Paulo: Ed. da USP, 1975. 1-19 pp.

DERBA (Departamento de Infraestrutura de Transportes da Bahia). **Faixa de domínio**. Disponível em: <http://www.derba.ba.gov.br:8080/portalfxd/>. Acesso em: 13/04/2010. [s/p.]

EGLER, C. A. G. **Mudanças Recentes no Uso e na Cobertura da Terra no Brasil**. Seminário: “Dimensões Humanas de Mudanças Ambientais Globais: perspectivas brasileiras”, Campinas,

- UNICAMP, junho de 2001. Disponível em: http://www.laget.igeo.ufrj.br/egler/pdf/Usos_Completo.pdf. 51p.
- FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, G. e DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. Livro on line. Disponível em: www.dpi.inpe.br/livro/intro/index.html. Acesso em 04/07/2004. [ebook; s/p.].
- FLORENZANO, T. G. Cartografia. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 105-128 pp.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico de Pedologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. 316p.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Buffer**. Disponível em: http://mapas.ibge.gov.br/website/tutorial_novo/buffer.html. Acesso em abril de 2010.
- KOHAGURA, T. **Lógica fuzzy e suas aplicações**. Londrina: UEL, 2007. Departamento de Computação - Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em < <http://www2.dc.uel.br/nourau/document/?view=601> >. 49p.
- LIU, W. T. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.
- LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G. Aplicações e laboratório em geografia e análise ambiental. In: VENTURI, L. A. B. **Praticando a Geografia: técnicas de campo**. São Paulo: Oficina de textos, 2005. Capítulo 3, p. 33 -54.
- PEDROSA, B. M.; CÂMARA, G. **Modelagem dinâmica: conceitos e exemplos de sistemas**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap1_conceitos.pdf. Acesso em 30/07/2008. Cap. 1. s/p.
- MARTINS, N. S. M. Mundos da incerteza: a lógica fuzzy na contemporaneidade. **Revista Mackenzie Educação, Arte e História da Cultura**. Ano 3/4, n. 3/4, 2003/2004, p. 135-140.
- OLIVEIRA, J.G.B. de. Implicações ecológicas do manejo de pastagens nativas. **Simpósio sobre caatinga e sua exploração racional (anais)**. Brasília: EMBRAPA-DDT / Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 1986. p.205-215.
- REFOSCO, J. C. Modelos dinâmicos espaciais e sua utilização na análise de mudança do uso do solo regional. In: ALMEIDA, C.M; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M. **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. Cap. 15, p. 328-365
- .RIOS, I.N.A. **Nossa Senhora da Conceição do Coité: poder e política no século XIX**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2003. (dissertação de mestrado). 153p.
- SANDRI, S.; CORREA, C. **Lógica Nebulosa**. V Escola de Redes Neurais, Promoção: Conselho Nacional de Redes Neurais. pp. c073-c090, -ITA, São José dos Campos – SP, 19 de julho, 1999. P. c073- c090.
- SANTANA, M. O. (Org.). **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: MMA, 2007. 134p.
- SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e Fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003. 236 p.
- SILVA, J.M.C.da; TABARELLI, M.; FONSECA, M.T.; LINS, L.V. (Orgs.). **Biodiversidade da caatinga: áreas prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. 382p.
- SOUZA FILHO, C. R. e CRÓSTA, Á. P. Geotecnologias aplicadas à geologia. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo: SBG. Volume 33, Nº2, 2003, 1-4 p.
- VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 72-104.