



GIS NORDESTE 97

I ENCONTRO DE USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO

RECIFE - PE - 7 a 10 de outubro 1997

GIS PARA MEIO AMBIENTE: APLICAÇÕES NO NORDESTE DO BRASIL

Cristina Mattos, Evaristo Eduardo de Miranda

Núcleo de Monitoramento Ambiental e de Recursos Naturais por Satélite (Embrapa-NMA)
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803, Parque São Quirino
CEP 13088-300, Campinas, SP, Brasil
Tel: (019) 252-5977, Fax: (019) 254-1100
<http://www.nma.embrapa.br>
e-mail: [cris, mir]@nma.embrapa.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma breve análise e alguns exemplos das aplicações dos sistemas de informações geográficas para meio ambiente. Inicialmente utilizados apenas como ferramentas para a geração automatizada de mapas temáticos isolados, posteriormente, acompanhando as mudanças nas concepções teóricas das ciências ambientais e os progressos tecnológicos e computacionais das últimas décadas, os SIGs passaram a ser empregados em análises e modelagens espaciais. Tornaram-se ferramentas fundamentais para estudos de funções complexas ao longo do tempo e do espaço, para a caracterização e integração de várias informações espaciais, como necessários em ordenamentos territoriais, planejamentos e manejos de recursos naturais. No Nordeste do Brasil, a Cartografia Digital da Sócio-Economia dos Estados do Nordeste Brasileiro, o Monitoramento Orbital de Queimadas e a Cartografia Ecológica do Arquipélago de Fernando de Noronha/PE e da região de Vitória da Conquista/BA exemplificam como estes sistemas contribuem para a reunião, análise e disponibilização de dados ambientais sobre a região, para a produção de informações derivadas de sua aplicação e para sua utilização em diversas áreas do conhecimento.

ABSTRACT

This work presents a brief analysis and some examples of the use of geographic information systems for environmental studies. After being used, at first, only as tools for the production of isolated thematic maps, the GIS accompanied the conceptual changes in the environmental sciences and the development of new technologies and hardware, during the past few decades, and started to be used for spatial analysis and modeling. They became essential for the study of complex functions through time and space, for the characterization and integration of spatial information, as required in territorial ordering, environmental planning,

and natural resources management. Studies such as the Digital Cartography of the Northeastern States' Socio-Economic Data, the Orbital Monitoring of Burnings, the Ecological Cartography of the Fernando de Noronha Archipelago and the Vitória da Conquista County are examples of how the GIS contribute to the gathering, analysis, and dissemination of environmental data in the Northeastern Brazil, to the production of derived information, and to their use in various fields and areas.

SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os sistemas de informação geográficas (SIG), ou do inglês "geographic information systems" (GIS), por sua capacidade integradora, permitindo coletar, armazenar, transformar, processar, analisar e expressar cartograficamente dados georreferenciados sobre os mais diversos aspectos da superfície terrestre (Burrough, 1986; Aronoff, 1989; Star & Estes, 1990), tornaram-se fundamentais para os estudos ambientais.

Estes conjuntos de aplicativos, equipamentos, dados, tecnologias e usuários (Teixeira *et al.*, 1995) são utilizados para automatizar tarefas tradicionalmente feitas manualmente, facilitando a realização de análises complexas, através da integração de informações de naturezas e fontes diversas e da criação de bancos de dados geocodificados (Engespaço, 1990; Felgueiras & Câmara, 1993).

Por estas características, nas últimas décadas, os SIGs têm se desenvolvido intensamente e se difundido como poderosas ferramentas para a análise de funções complexas ao longo do tempo e do espaço (Valenzuela, 1988; Green, 1994), como as abordadas pelos mais diversos estudos do meio ambiente.

Este trabalho apresenta uma breve análise das contribuições dos sistemas de informações geográficas para a área ambiental, incluindo alguns exemplos práticos de aplicação na Região Nordeste do Brasil.

EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS AMBIENTAIS E A CONTRIBUIÇÃO DOS SIGs

Estudos sobre o meio ambiente, seus objetivos, objetos, instrumentos, métodos, procedimentos e resultados evoluíram consideravelmente ao longo do tempo, em função de vários fatores.

Em primeiro lugar, devido às mudanças que ocorreram nas relações entre o homem e a natureza. Após séculos de interações essencialmente predatórias, com o progresso das civilizações dependendo da conversão das paisagens naturais em terras colonizadas e do consumo indiscriminado de recursos naturais, nos tempos modernos, particularmente após a Segunda Guerra Mundial, ocorreu uma profunda modificação das sensibilidades e a conservação da natureza passou a ser uma preocupação generalizada. O antigo modelo de desenvolvimento regido unicamente pela teoria econômica de mercado, causador de contínua deterioração do meio ambiente, foi substituído pelo paradigma do desenvolvimento sustentável (Barbier, 1987; Comissão..., 1988; Brundtland, 1989; Tolba, 1992; Goodland *et al.*, 1993), voltado não somente para a sustentação da produção e renda, mas também dos ecossistemas. Problemas ambientais como desmatamentos, extinções de espécies animais e vegetais, perda de biodiversidade e potencial produtivo, fragmentação e erradicação de habitats, aumento da concentração de poluentes no ar, terra e água, mudanças climáticas globais, entre outros, passaram a receber a atenção não apenas da comunidade científica, mas de governantes e da opinião pública mundial.

Paralelamente a esta evolução das interações homem-natureza e das preocupações com os problemas ambientais, houve também alterações nas concepções teóricas das ciências

ambientais. Surgiram novas disciplinas, como a ecologia de paisagens (Forman & Godron, 1986) e a biologia da conservação ou “conservation biology” (Soulé, 1985), abordagens mais abrangentes sobre os fenômenos naturais, métodos modernos de estudo da dinâmica espaço-temporal do espaço geográfico e, conseqüentemente, inúmeras possibilidades de aplicação prática para planejamento, manejo e monitoramento dos recursos naturais.

Há alguns séculos, quando as ciências ambientais se desenvolviam independentemente e as pesquisas concentravam-se em temas básicos, os estudos ambientais consistiam principalmente na elaboração de inventários, com extensas listagens de espécies animais e vegetais e descrições de recursos naturais, como os primeiros trabalhos realizados por naturalistas em viagens pelo Brasil, durante os séculos XIX e XX.

A partir do início do século XX, porém, com as novas teorias e modelos sobre a natureza, o estudo de parâmetros ambientais começou a ser integrado à espacialização geográfica dos fenômenos naturais. Estudos botânicos e zoológicos passaram a apresentar considerações sobre a distribuição geográfica dos organismos e suas dinâmicas espaciais, dando início às análises de ecologia de paisagens. Percebeu-se que as simples listagens de espécies e descrições de recursos naturais não são suficientes para a análise de muitos dos sistemas ecológicos e problemas ambientais. São necessárias informações sobre como os recursos naturais se distribuem no tempo e espaço, como interagem e como são afetados pelas atividades humanas. Para isto, os descritores do meio ambiente precisam ser qualificados, quantificados, georreferenciados, mapeados e analisados de maneira integrada. O planejamento do uso das terras, ordenamentos territoriais, zoneamentos, análises de paisagens e outros estudos com uma visão holística do ambiente, que se desenvolveram no século XX como instrumentos para busca do desenvolvimento sustentável, apoiam-se nesta análise integrada do meio natural (Bertrand, 1968 *apud* Tricart & Kilian, 1979; McHarg, 1969; Hills, 1970 *apud* Orea, 1978; Jurdant *et al.*, 1977; Tricart & Kilian, 1979; SEMA, 1988).

A operacionalização destas novas abordagens dos estudos ambientais, mais abrangentes, envolvendo a caracterização e integração de várias informações e a geração de modelos cada vez mais realistas sobre fenômenos complexos em escalas regionais, ocorreu concomitantemente e graças ao progresso das técnicas de geoprocessamento e dos recursos computacionais. Enquanto a obtenção de informações atualizadas, detalhadas e seqüenciais sobre os recursos naturais foi viabilizada pelo desenvolvimento de tecnologias de sensoriamento remoto, a análise conjunta de grande número de descritores da paisagem e suas relações espaciais tornou-se dependente da estruturação de bases de dados georreferenciados em sistemas de informações geográficas (Myers *et al.*, 1989).

APLICAÇÕES

Inicialmente, os sistemas de informações geográficas eram utilizados apenas como ferramentas para a geração automatizada de cartas temáticas isoladas e para a sobreposição de grandes quantidades de informações espaciais. Porém, a partir da década de 1960, à medida em que ocorria o desenvolvimento dos equipamentos, permitindo a produção de SIGs mais rápidos e potentes, capazes de armazenar um número cada vez maior de informações (Jensen, 1986; Croswell & Clark, 1988; Egenhofer & Frank, 1990), houve também um desenvolvimento conceitual quanto a novas maneiras de se analisar e utilizar os dados espaciais (Cliff & Ord, 1981 *apud* Burrough, 1986). Em pouco tempo, eles começaram a ser usados também para vários outros tipos de análises espaciais e lógicas, como planejamentos ambientais e estudos ecológicos. Como ferramentas para estudos ambientais, os SIGs passaram a ser utilizados não apenas para a automação de rotinas da cartografia tradicional, mas também para gerar

representações de um modelo do mundo real ou de cenários futuros (Bouillé, 1978 *apud* Burrough, 1986; INPE/EMBRAPA, 1993; Flamm & Turner, 1994).

Atualmente, os SIGs são indispensáveis para o estudo de quaisquer variáveis ou fenômenos que se distribuam espacialmente (Burrough, 1986). Sua aplicação é extremamente diversificada, sendo utilizado em áreas tão diversas como ecologia, biologia, oceanografia, geografia, cartografia, engenharia, climatologia, agronomia etc. (Goodchild & Brusegard, 1989; Townshend, 1990), em escalas de trabalho que vão desde o nível local até o continental e mundial. Os SIGs constituem hoje uma das mais importantes tecnologias disponíveis para ordenamento territorial, planejamento e manejo de recursos naturais (Oliveira, 1990; Azevedo, 1994; Franklin, 1994). Sua contribuição é fundamental para:

- inventários e monitoramentos, permitindo o levantamento preciso dos recursos naturais, sua localização e alterações ao longo do tempo. O monitoramento dos recursos é fundamental para uma análise crítica das estratégias de manejo adotadas pelo homem, fornecendo uma retroalimentação (“feedback”) necessária para eventuais correções destas estratégias;
- planejamento em escalas menores que a da propriedade. Para estudos de paisagens, para os quais são necessárias análises de tamanho de manchas, dispersão, agregação, conectividade etc.;
- modelagem e teste de diferentes configurações de paisagens e para a elaboração de cenários;
- formulação de políticas de uso e ocupação dos solos, agilizando o armazenamento, recuperação e consulta a grandes bases de dados;
- tomadas de decisões, facilitando a colaboração entre cientistas, políticos e demais agentes envolvidos no processo de planejamento do uso das terras.

São inúmeros os trabalhos que descrevem esta diversidade de possibilidades de aplicações de SIG. Sem a intenção de apresentar uma revisão bibliográfica completa do assunto, são apresentados, a seguir, apenas alguns exemplos, que ilustram a diversidade de sua utilização, tanto como uma simples ferramenta de cartografia automatizada ou como uma base de dados digitais para armazenamento e recuperação de informações, quanto para a integração multidisciplinar de informações ambientais e orbitais.

Miranda *et al.* (1994a, 1995, 1997a) e Hallet *et al.* (1996), por exemplo, utilizam SIG como um instrumento complementar na análise da sustentabilidade do uso das terras; Palmeirim (1988), Haslett (1990), Hunter (1991), Miranda & Pierozzi Júnior (1992), Conglaton *et al.* (1993), Griffiths *et al.* (1993), Miranda *et al.* (1994b), Cherrill & MacClean (1995), Batistella *et al.* (1996) e Pierozzi Júnior *et al.* (1997) integram SIG e sensoriamento remoto, a fim de mapear e monitorar os potenciais ambientes (hábitats e biótopos) de ocorrência de espécies animais; Jenkins (1988) avalia a utilização de técnicas de análise espacial para a conservação da biodiversidade; Lima (1994) usa SIGs para o manejo de bacias hidrográficas; Zonta (1995) para a produção automatizada de uma base cartográfica municipal; Teubner Jr. (1994) para o gerenciamento costeiro; Curtis & Rowland (1986), Hendrix *et al.* (1988), Oliveira (1995), Mattos (1996) e Francisco & Silva (1996) para auxiliar nos estudos de implantação de unidades de conservação ou de áreas de uso restrito; Davidson *et al.* (1996) e GIS (1996) para auxiliar na avaliação, no planejamento estratégico e na formulação de propostas de manejo operacional do uso das terras; Jankowski (1995) e Brown *et al.* (1994) apresentam estratégias de integração entre SIGs e métodos multi-critério para tomada de decisões menos subjetivas quanto à organização do espaço em função das potencialidades de uso e ocupação, à seleção e alocação de terras para diferentes atividades; Aspinall (1993) para a análise de políticas de usos das terras e modelagem dos efeitos de mudanças nos usos; Chuvieco & Salas (1996) e Miranda *et al.* (1997b) para a integração e mapeamento de dados relativos ao monitoramento de florestas; Silva & Petersen (1997) para análise da distribuição de chuvas; Merten *et al.* (1995), Mitasova *et al.* (1996) e Rogowisk (1996) para estudos de solos e processos erosivos etc.

Os estudos mencionados acima atestam a importância e a operacionalidade dos sistemas de informações geográficas como ferramentas metodológicas para a produção e integração de informações georreferenciadas sobre o meio ambiente. Eles comprovam sua eficiência e eficácia na estruturação de bases cartográficas digitais, na recuperação, visualização, edição, atualização, manipulação automática e expressão dos dados armazenados.

Nas mais diversas aplicações, os sistemas de informações geográficas, principalmente quando integrados à tecnologia de sensoriamento remoto, permitem a caracterização, a representação espacial e o monitoramento de fenômenos ambientais de forma: precisa (resolução espacial dos produtos de sensoriamento remoto); atual (resolução temporal dos produtos de sensoriamento remoto); operacional (pequeno número de pessoas é necessário para a execução dos trabalhos, e as rotinas utilizadas em um estudo podem ser aplicadas em contextos análogos); detalhada e eficiente.

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE SIG NO NORDESTE DO BRASIL

A Região Nordeste, historicamente, é uma das que mais acumulou dados georreferenciados sobre o meio ambiente no Brasil. Durante décadas, instituições como SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra a Seca), CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco), CHESF (Companhia Hidroelétrica do São Francisco), CAR (Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional), CEPA (Comissão Estadual de Planejamento Agrícola), FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), EPABA (Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia), IPA (Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco), dentre muitas outras; programas de desenvolvimento regional como Polonordeste, Projeto Sertanejo, PDRI-NE (Programa de Desenvolvimento Rural Integrado - Nordeste), PAP (Programa de Apoio ao Pequeno Produtor Rural) do Projeto Nordeste (do Banco Mundial)...; empresas nacionais com ação regional ou estadual no Nordeste como Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), EMATER (Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural), CEPLAC (Comissão Executiva do Plano de Lavoura Cacaueira), FIBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) etc., foram responsáveis pela produção e reunião de um grande volume de informações ecológicas, agronômicas, sócio-econômicas, culturais e históricas, dentre outras, originalmente nos mais variados formatos e escalas.

As dificuldades de acesso e trabalho com tal quantidade e diversidade de informações podem ser superadas com o uso dos SIGs. Estes sistemas apresentam-se hoje como uma alternativa para, progressivamente, reunir, analisar, comparar, priorizar, sobrepor e disponibilizar estes dados, produzir informações derivadas de sua aplicação e empregá-las em planejamento, ordenamento territorial, monitoramento ambiental e diversas outras áreas. Algumas iniciativas neste sentido já têm sido tomadas, como as bases de dados e sistemas de informações estruturados pela Embrapa Monitoramento por Satélite (Embrapa-NMA), apresentados a seguir.

A nível regional, a **“Cartografia Digital da Sócio-Economia dos Estados do Nordeste Brasileiro”** é um exemplo da eficiência dos SIGs para a análise de dados cartográficos e numéricos do Nordeste, simultaneamente (Batistella *et al.*, 1993).

Neste estudo, o Sistema de Informações Geográficas (SGI/INPE) foi utilizado para superar uma série de dificuldades técnicas e operacionais relativas à espacialização de dados numéricos (Egenhofer & Frank, 1990). Todos os limites administrativos dos mais de 1.400 municípios nordestinos foram digitalizados e rotulados, constituindo uma base geocodificada. Para a elaboração de mapas sócio-econômicos para cada um dos estados, desenvolveu-se uma rotina que permite a recuperação, via Internet e/ou RENPAC, num banco de dados remoto, de informações numéricas com base municipal, seu tratamento estatístico e sua posterior espacialização num plano local de informação do SGI. Múltiplas possibilidades de

reclassificação e cruzamento digital das informações numéricas e cartográficas permitiram o mapeamento de inúmeras variáveis, possibilitando estudos das mais diversas naturezas. Como resultado, foram constituídas centenas de mapas e, virtualmente, são possíveis muitos mais.

Através destes mapeamentos analíticos e posteriores resultados sintéticos, produzidos por cruzamentos, o SGI permitiu exprimir cartograficamente fenômenos invisíveis na forma numérica tabulada dos censos demográficos e sócio-econômicos. Os resultados apresentam dois interesses principais para atividades de planejamento regional e estadual: a visualização cartográfica da sócio-economia regional, habitualmente só disponível em forma numérica (como exemplificado na Figura 1); a visualização de mapas de síntese, inéditos, resultantes do cruzamento de mapas temáticos, através das rotinas do SGI (como o da Figura 2).

Ainda a nível regional, o **"Monitoramento Orbital de Queimadas"** integra as tecnologias de sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e comunicação eletrônica para identificar, quantificar, cartografar e divulgar a ocorrência de queimadas nos estados nordestinos e os impactos ambientais decorrentes sobre sistemas ecológicos e agropecuários (Miranda & Miranda, 1992; Miranda, 1993).

Uma equipe multiinstitucional e multidisciplinar da ECOFORÇA-Pesquisa e Desenvolvimento, da Embrapa Monitoramento por Satélite (Embrapa-NMA), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da Agência Estado, com apoio da FAPESP, elaborou programas de computador e rotinas informatizadas que organizam dados diários de detecção das queimadas, provenientes do satélite NOAA/AVHRR, em mapas semanais, mensais e anuais (como exemplificado nas Figuras 3 e 4). Estes mapas são geocodificados e analisados no tocante às áreas onde estão ocorrendo as queimadas, sua origem, uso das terras em cada local e impacto ambiental decorrente. Os resultados são, então, difundidos à comunidade via Internet (<http://www.nma.embrapa.br/projetos/qmd/>) e pela mídia escrita. O sistema está operacional desde 1991 e é constantemente aperfeiçoado.

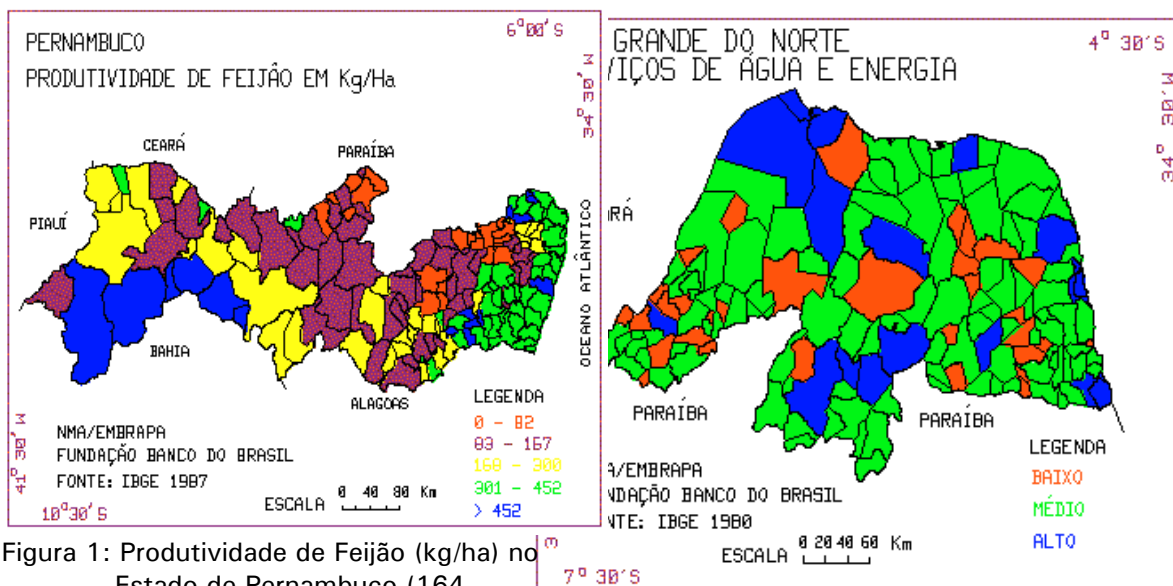


Figura 1: Produtividade de Feijão (kg/ha) no Estado de Pernambuco (164 municípios). Fonte dos dados numéricos: IBGE (1985).

Figura 2: Porcentagem de domicílios atendidos por serviços de água e energia elétrica no Estado do Rio Grande do Norte (150 municípios). Fonte dos dados numéricos: IBGE (1983).

Em escalas maiores, os SIGs também são freqüentemente empregados para estudos ambientais a níveis estadual e local.

A “**Cartografia Ecológica do Arquipélago de Fernando de Noronha/PE**”, por exemplo, é um amplo conjunto de dados ambientais, numéricos e cartográficos, gerados e manipulados por computador a partir do uso de técnicas de geoprocessamento, com vistas ao manejo integrado do arquipélago (Batistella, 1993).

Este estudo envolveu o reconhecimento do meio físico, da vegetação e da influência das atividades humanas sobre a paisagem através da interpretação de produtos sub-orbitais de sensoriamento remoto e de prospecções em campo. Após a estruturação de uma base de dados geocodificados para estes temas, o tratamento cartográfico, realizado com o SIG/INPE, envolveu a criação de um modelo digital de elevação, conversão de formatos, fatiamentos, reclassificações temáticas, interface com bases de dados numéricos, cruzamentos de planos de informações, cálculo de áreas, geração de cartas e listagens.

Os resultados incluem 78 cartas analíticas no formato A4 (escala 1:50.000) e três no formato A1 (escala 1:20.000) (como exemplificado na Figura 5), constituindo uma ampla base de dados geocodificados sobre os condicionantes físicos, vegetais e antrópicos das paisagens do Arquipélago, sua sensibilidade e estabilidade. Eles constituem subsídios à gestão ambiental de Fernando de Noronha, indicando caminhos para conciliar preservação ecológica com desenvolvimento sócio-econômico neste conjunto de ilhas isoladas no Oceano Atlântico.

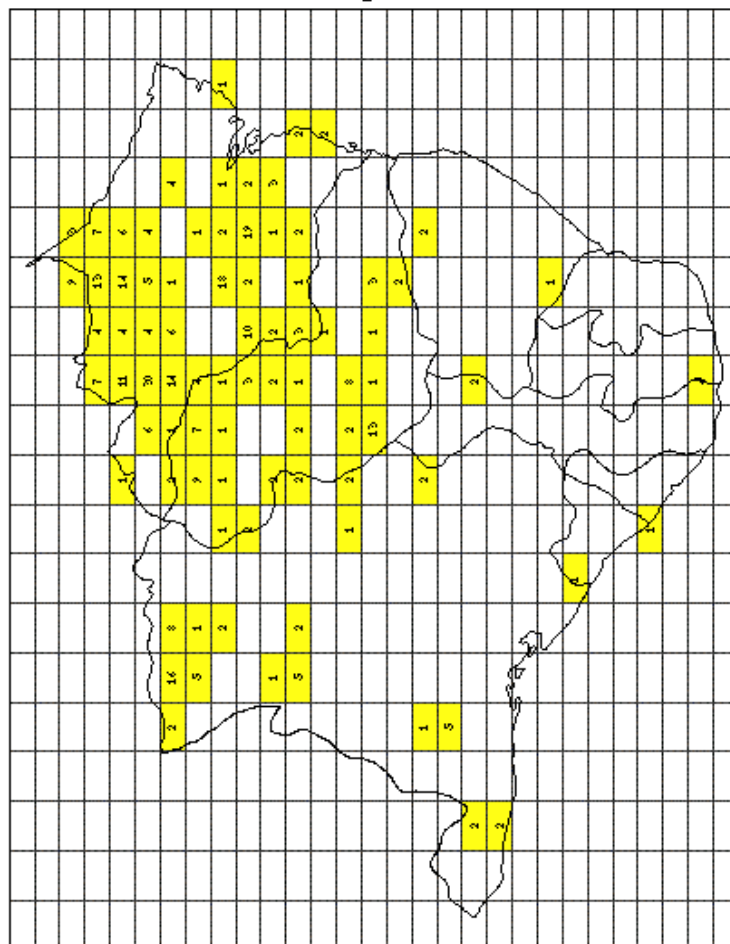
A “**Cartografia ambiental de Vitória da Conquista/BA**” é um exemplo da utilização de SIG para estudos ambientais em escala municipal. Este trabalho, realizado pela ECOFORÇA-Pesquisa e Desenvolvimento e pela Embrapa-NMA, envolve a construção de um banco de dados geocodificados em SIG para a caracterização das unidades de vegetação da região e de suas mudanças sazonais em função de fatores ambientais, particularmente pluviométricos (Guimarães *et al.*, 1996).

Ele envolve a aquisição de índices de vegetação com diferença normalizada, derivados do sensor AVHRR do NOAA; a caracterização e o mapeamento dos usos das terras (a partir de imagens Landsat/TM) e dos componentes físicos da paisagem; o levantamento, tabulação e análise dos dados agrometeorológicos mensais; a validação das informações por checagens em campo; a estruturação e integração digital da base de dados em um sistema de informações geográficas; e finalmente a geração de mapas sobre os principais condicionantes ambientais da vegetação.

Monitoramento Orbital de Queimadas

Região Nordeste

22-28 de Agosto de 1997



Total de queimadas: 365
Total de quadriculados com queimadas: 83
Número mínimo de queimadas: 1
Número máximo de queimadas: 30
Número médio de queimadas: 4.40
Desvio padrão de queimadas: 5.07

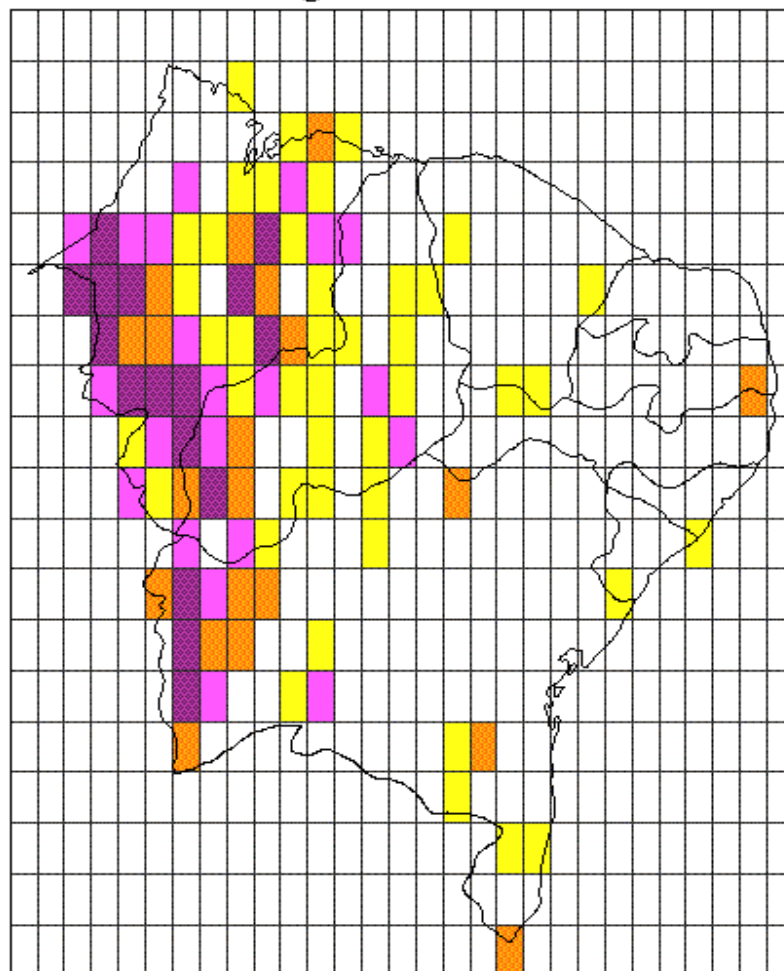
Dados do Satélite NOAA: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-MCT)
Mapeamento Digital e Arte Final: Núcleo de Monitoramento Ambiental (Embrapa-NMA)
Interpretação Espacial e Análise Ambiental (ECOPORÇA)
Difusão: Agência Estado (AE)

Figura 3: Mapa numérico de ocorrência de queimadas na Região Nordeste, na semana de 22 a 28/08 de 1997.

Monitoramento Orbital de Queimadas

Região Nordeste

Agosto de 1997



Total de queimadas: 800
Total de quadrículas com queimadas: 100
Número mínimo de queimadas: 1
Número máximo de queimadas: 60
Número médio de queimadas: 8,00
Desvio padrão de queimadas: 9,41

Legenda
Nenhum
1-3 pontos
4-7 pontos
8-16 pontos
17-60 pontos

Dados do Satélite NOAA: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-MCT)
Mapeamento Digital e Arte Final: Núcleo de Monitoramento Ambiental (Embrapa-NMA)
Interpretação Espacial e Análise Ambiental (ECOPORÇA)
Difusão: Agência Estado (AE)

Figura 4: Mapa de classes de ocorrência de queimadas na Região Nordeste, no mês de agosto de 1997.

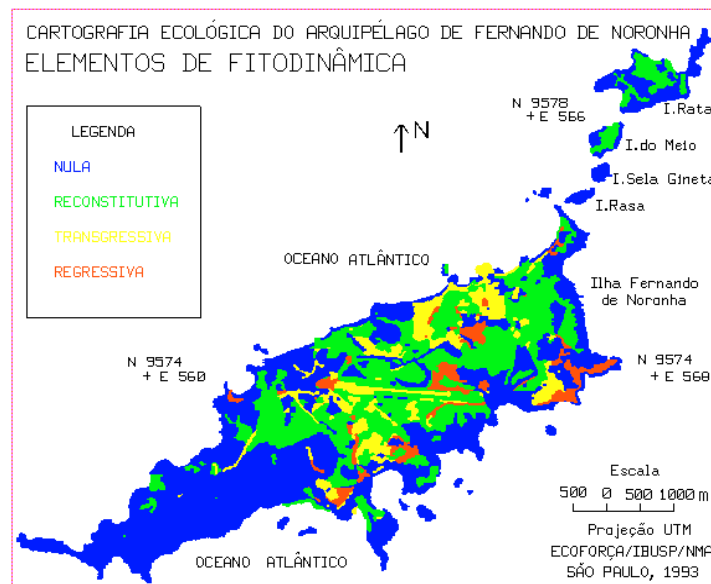


Figura 5: Elementos de fitodinâmica do Arquipélago de Fernando de Noronha, PE.

PERSPECTIVAS E TENDÊNCIAS NO BRASIL

A experiência em geoprocessamento e suas aplicações em meio ambiente são bem mais recentes no Brasil que em países desenvolvidos do hemisfério norte, como Estados Unidos, Canadá, França e Inglaterra. Mas, apesar do início tardio causado pela reserva de mercado nos anos 1980, devido às dimensões continentais do país e à grande carência de informações para o planejamento ambiental, os SIGs rapidamente tornaram-se ferramentas importantes para estudos em cartografia, planejamento urbano, administração pública e outras atividades relacionadas à distribuição de fenômenos espaciais no território nacional (Engespaço, 1990). Na década de 1990, sua utilização difundiu-se muito e, em 1995, já estavam cadastrados pelos principais fornecedores destes aplicativos mais de 300 usuários (Rosa, 1995).

Em função da crescente facilidade de acesso às tecnologias, de seus custos cada vez mais reduzidos e da necessidade de seu emprego para análises e modelagens espaciais, as perspectivas futuras são de crescimento contínuo da utilização de SIGs em estudos ambientais no Brasil, tornando-se não apenas uma ferramenta de trabalho, mas também uma extensão do pensamento analítico de seus usuários. Questões como o ordenamento territorial da Amazônia, o zoneamento agroecológico, a dinâmica espaço-temporal do uso das terras e os impactos ambientais das atividades humanas reforçam a perspectiva de ampliação de sua aplicação.

Para o Nordeste, a Embrapa-NMA articula com outros centros de pesquisa, como CPATSA e CNPMA, um projeto conjunto para a utilização de SIG no diagnóstico ambiental dos pólos hidro-agrícolas da região.

Uma das principais dificuldades para a utilização dos SIGs em meio ambiente consiste ainda na formação técnica dos usuários, tanto em geoprocessamento como nas ciências ambientais que empregam esta tecnologia. Além dos investimentos em equipamentos, programas e na constituição de bancos de dados, são fundamentais investimentos nos especialistas que produzirão e utilizarão os sistemas.

Outro grande desafio para o futuro é a disponibilidade pública desta tecnologia e das bases de dados já existentes, explorando particularmente as potencialidades das redes de comunicação eletrônica (como Internet e WWW), além de sua contínua manutenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa : WDL, 1989. 295p.
- ASPINALL, R. Use of geographic information systems for interpreting land-use policy and modelling effects of land-use change. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. (ed.). **Landscape ecology and geographic information systems**. London : Taylor & Francis, 1993. p.223-236.
- AZEVEDO, L.H.A. de. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento integrados ao planejamento territorial**. São Paulo : FFLCH-USP, 1994. 267p. Tese (Doutorado em Ciências).
- BARBIER, E.B. The concept of sustainable economic development. **Environmental Conservation**, v.14, n.2, p.101-110, 1987.
- BATISTELLA, M. **Cartografia ecológica do Arquipélago de Fernando de Noronha**. São Paulo : IB-USP, 1993. 235p. Dissertação (Mestrado em Ecologia).
- BATISTELLA, M.; MIRANDA, E.E. de; LECOQ, M.; PIEROZZI JÚNIOR, I. Integração de dados georreferenciados no mapeamento dos biótopos do gafanhoto praga de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 14-19 abr., 1996, Salvador, BA. **Anais...** São José dos Campos : INPE/SELPER, 1996. (1 CD-ROM).
- BATISTELLA, M.; MIRANDA, J.R.; MIRANDA, E.E. de. Banco de dados geocodificados com base municipal para a Região Nordeste do Brasil. In: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 2, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo : EPUSP, 1993. p.87-102.
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, n.39, p.249-272, 1968. (*apud* TRICART & KILIAN, 1979).
- BOUILLÉ, F. Structuring cartographic data and spatial processes with the hipergraph-based data structure. In: INTERNATIONAL ADVANCED STUDY SYMPOSIUM ON TOPOLOGICAL DATA STRUCTURES FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 1978. **Proceedings...** Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Harvard, 1978. v.5. (*apud* BURROUGH, 1986).
- BROWN, S.; SCHREIER, H.; THOMPSON, W.A.; VERTINSKY, I. Linking multiple accounts with GIS as a support system to resolve forestry/wildlife conflicts. **Journal of Environmental Management**, v.42, n.4, p.349-364, 1994.
- BRUNDTLAND, H.G. Sustainable development: an overview development. **Journal of the Society for International Development**, Italy, v.2/3, 1989.
- BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford : Clarendon, 1986. 192p.
- CHERRILL, A.; MACCLEAN, C. An investigation of uncertainty in field habitat mapping and the implications for detecting land cover change. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v.10, n.1, p.5-21, Feb. 1995.
- CHUVIECO, E.; SALAS, J. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.10, n.3, p.333-345, Apr.-May 1996.
- CLIFF, A.D.; ORD, J.K. **Spatial processes: models and applications**. London : Pion, 1981. (*apud* BURROUGH, 1986).

- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro : FGV, 1988. 430p.
- CONGLATON, R.G.; STENBACK, J.M.; BARRET, R.H. Mapping deer habitat suitability using remote sensing and geographic information systems. **Geocarto International**, v.3, p.23-33, 1993.
- CROSWELL, P.L.; CLARK, S.R. Trends in automated mapping and geographic information system hardware. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.54, n.11, p.1571-76, 1988.
- CURTIS, R.L.; ROWLAND, E.B. Land management planning: applications of a geographic information system. In: GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS WORKSHOP, Apr. 1986, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta, 1986. p.178-187.
- DAVIDSON, D.A.; THEOCHAROPOULOS, S.P.; BLOKSMA, R.J. A land evaluation project in Greece using GIS based on boolean and fuzzy set methodologies **International Journal of Geographical Information Systems**, v.10, n.8, p.369-384, 1996.
- EGENHOFER, M.J.; FRANK, A.U. Prospective views of GIS technologies and applications. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo : EPUSP, 1990. p.95-102.
- ENGESPAÇO. **SITIM 150 - Sistema Geográfico de Informações**: manual de referência do usuário, Versão 2.1 R01. São José dos Campos, 1990. 268p.
- FELGUEIRAS, C.A.; CÂMARA, G. Sistema de Informações Geográficas do INPE. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (ed). **Sistema de Informações Geográficas**: aplicações na agricultura. Planaltina : EMBRAPA-CPAC, 1993. p.41-59.
- FLAMM, R. O.; TURNER, M. G. Alternative model formulations for a stochastic simulation of landscape change. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v.9, n.1, p.37-46, 1994.
- FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape ecology**, New York : John Wiley and Sons, 1986. 619p.
- FRANCISCO, C.N.; SILVA, J.X. da. Parque Nacional da Tijuca: GIS no zoneamento de unidades de conservação. **Fator GIS**, v.4, n.14, p.13-15, jun./jul. 1996.
- FRANKLIN, J.F. Developing information essential to policy, planning, and management decision-making: the promise of GIS. In: SAMPLE, V.A. (ed.). **Remote sensing and GIS in ecosystem management**. Washington : Island, 1994. p.18-24.
- GIS AIDS EL SALVADOR LAND REDISTRIBUTION. **GIS World**, v.9, n.8, p.13, Ago. 1996.
- GOODCHILD, M.F.; BRUSEGARD, D. **Spatial analysis using GIS**: Seminar Workbook. New Orleans : NCGIA, 1989. 63p. (NCGIA Technical Papers, s/n).
- GOODLAND, R.J.A.; DALY, H.E.; SERAFY, S. The urgent need for rapid transition to global environmental sustainability. **Environmental Conservation**, v.20, n.4, p.297-309, 1993.
- GREEN, K. The potential and limitations of remote sensing and GIS in providing ecological information. In: SAMPLE, V.A. (ed.). **Remote sensing and GIS in ecosystem management**. Washington : Island, 1994. p.327-336.
- GRIFFITHS, G.H.; SMITH, J.M.; VEITCH, N.; ASPINALL, R. The ecological interpretations of satellite imagery with special reference to bird habitats. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. (ed). **Landscape ecology and geographic information systems**. London : Taylor & Francis, 1993. p.255-272.
- GUIMARÃES, M.; MIRANDA, J.R.; MIRANDA, E.E. Cartografia ambiental da região de Vitória da Conquista, BA. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3., 6-11 out. 1996, Brasília, DF. **Resumos...** Brasília : UNB, 1996, p.457.
- HALLETT, S.H.; JONES, R.J.A.; KEAY, C.A. Environmental information systems developments for planning sustainable land use. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.10, n.1, p.47-64, 1996.
- HASLETT, J.R. Geographic Information Systems: a new approach to habitat definition and the study of distributions. **TREE**, v.5, n.7, p.214-218, Jul. 1990.

- HENDRIX, W.G.; FABOS, J.G.; PRICE, J.E. An ecological approach to landscape planning using geographic information system technology. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v.15, p.211-25, 1988.
- HILLS, V.A.G. **Developing a better environment**. Toronto : Ontario Economic Council, 1970. (*apud* OREA, 1978).
- HUNTER, D.O. Science and spirit: GIS tracks the elusive snow leopard. **Geo Info Systems**, p.21-27, Jan. 1991.
- IBGE. **9. Recenseamento geral do Brasil - 1980**. Censo Agropecuário: Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro, v.2, t.3, n.10, 1983. 519p.
- IBGE. **Censos Econômicos de 1985**. Censo Agropecuário: Pernambuco. Rio de Janeiro, n.14, 1985. 548p.
- INPE/EMBRAPA. **SPRING**: manual do usuário, versão preliminar. s.l., fev. 1993. 336p.
- JANKOWSKI, P. Integration geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.9, n.3, 1995. p.251-273.
- JENKINS, R.E. Information management for the conservation of biodiversity. In: WILSON, E.O. (ed.) **Biodiversity**. Washington, D.C. : National Academy Press, p.231-9, 1988.
- JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing**: a remote sensing perspective. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1986. 379p.
- JURDANT, M.; BÉLAIR, J.L.; GERARDIN, V.; DUCRUC, J.P. **L'inventaire du capital-nature**: méthode de classification et de cartographie écologique du territoire (3^{ème} approximation). Québec : Thorn, 1977. 202p. il.
- LIMA, M.A. de. **Avaliação da qualidade ambiental de uma microbacia no Município de Rio Claro - SP**. Rio Claro : Instituto de Geociências e Ciências Exatas-UNESP, 1994. 2v. 264p. Tese (Doutorado em Geociências).
- MATTOS, C. de O. **Contribuição ao planejamento e gestão da Área de Proteção Ambiental de Sosas e Joaquim Egídio, Campinas/SP**. São Paulo: USP-IB-DEG, 1996. 235p. Dissertação (Mestrado em Ciências).
- McHARG, I.L. **Design with nature**. New York : Doubleday/Natural History, 1969. 198p.
- MERTEN, G.H.; KAVIGLIONI, J.H.; GIACOMINI, C.C.; RUFINO, R.L.; SAINTRAND, D.; KESSLER, C.A.; RIBAS, G.C.; DEDECEK, R. O uso de SIG e do modelo USLE para determinar a erosão potencial e atual nas microbacias piloto de Água Grande e Córrego do Pensamento, Maborê, Paraná. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 2. **Anais...** Londrina: SBS-IAPAR, 1995. p.273-274.
- MIRANDA, E.E. de. Variabilidade espaço-temporal das queimadas no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: MCT/INPE, 1993, v.2, p.197-201.
- MIRANDA, E.E. de; BATISTELLA, M.; MANGABEIRA, J.A. Uma contribuição do geoprocessamento ao estudo dos sistemas de produção de Machadinho d'Oeste, RO. In: GIS BRASIL'97, 12-16 maio 1997, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: SAGRES, maio 1997a. 8p. (CD-ROM. Módulo Florestal e Agrícola).
- MIRANDA, E.E. de; DORADO, A.J.; GUIMARÃES, M.; MANGABEIRA, J.A.; MIRANDA, J.R. **Sistemas de informaciones geograficas como instrumento complementario para la evaluación de sistemas de producción sostenibles**: informe final. Campinas : ECOFUERZA Investigación y Desarrollo/RIMISP/CIID, 1995. 220p. mapas, cartas (fotogr.), tab.
- MIRANDA, E.E. de; MATTOS, C.; MANGABEIRA, J.A. de C. The use of GIS to assess the agricultural sustainability in tropical rain forests. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RESOURCE AND ENVIRONMENTAL MONITORING - ECORIO'94, Commission VII, 1994. Rio de Janeiro. **Proceedings...** São José dos Campos : INPE, 1994a. v.30, tomo 7b, p.323-328.

- MIRANDA, E.E. de; MIRANDA, J.R. Dinâmica espaço temporal das queimadas no Brasil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ECOLOGIA, 2, Caxambú, 1992. **Resumos...** S.1:SEB, 1992. p.454-455.
- MIRANDA, E.E. de; PIEROZZI Jr., I.; BATISTELLA, M.; DURANTON, J. F.; LECOQ, M. Static and dynamic cartographies of the biotopes of the grasshopper *Rhammatocerus schistocercoides* (Rhen, 1906) in the state of Mato Grosso, Brazil. **Revista Selper**, v.10, n.3-4, p.67-71, 1994b.
- MIRANDA, J.R.; PERSON, G.; BATISTELLA, M. Sistema de prevenção e combate a incêndios florestais no Município de Campinas, SP. In: GIS BRASIL'97, 12-16 maio 1997, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: SAGRES, maio 1997b. 5p. (CD-ROM. Módulo Florestal e Agrícola).
- MIRANDA, J.R.; PIEROZZI JÚNIOR, I. Utilização de imagens SPOT e sistema geográfico de informações (SGI) na cartografia do uso atual das terras e habitats faunísticos. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ECOLOGIA, 2.; CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 1., 6-11 dez. 1992, Caxambú. **Resumos...** Rio Claro : SEB, 1992. p.107-108.
- MITASOVA, H.; HOFIERKA, J.; ZLOCHA, M.; IVERSON, L.R. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.10, n.5, p.629-641, 1996.
- MYERS, W.L.; EVANS, B.M.; BAUMER, G.M.; HEIVLY, D. Synergism between human interpretation and digital pattern recognition in preparation of thematic maps. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v.44, p.85-96, 1989.
- OLIVEIRA, C.N.E. de. Sistemas de informação geográfica em computadores de pequeno porte: aplicações em planejamento ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 24-29 jun. 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos : INPE/SELP/ISPRS-Commission I/SBC, 1990. v.3, p.753-762.
- OLIVEIRA, H.H. de. **Proposta de criação e caracterização da Área de Proteção Ambiental de Descalvado - SP**. São Paulo : Instituto de Biociências-USP, 1995. 140p. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Departamento de Ecologia Geral-Instituto de Biociências-Universidade de São Paulo.
- OREA, D.G. **El medio físico y la planificación**. Madrid : CIFCA, 1978. 144p. (Cuadernos del Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales, 10).
- PALMEIRIM, J.M. Automatic mapping of avian species habitat using satellite imagery. **Oikos**, v.52, n.1, p.59-68, 1988.
- PIEROZZI JÚNIOR, I.; MIRANDA, E.E.; LECOQ, M.; DURANTON, J.-F.; BATISTELLA, M. Cartografia dos biótopos de *Rhammatocerus schistocercoides* na Chapada dos Parecis, Estado do Mato Grosso, com utilização de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 16., 2-7 mar. 1997, Salvador, BA. **Resumo...** Cruz das Almas, BA: Embrapa-CNPMP/EBDA, 1997. 3p.
- ROGOWISK, A.S. Quantifying soil variability in GIS applications: II. Spatial distribution of soil properties. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.10, n.4, p.455-475, 1996.
- ROSA, F.S. Softwares de geoprocessamento: quem é quem. **Fator GIS**, n.8, p.21-26, jan./fev./mar. 1995.
- SEMA. SEC. Coordenadoria de Áreas de Proteção Ambiental. **Caracterização e diretrizes gerais de uso da APA do Rio São Bartolomeu, escala de 1:100.000** (2.ed.). Brasília, 1988. v.1, 53p. il.
- SILVA, E.S.; PETERSEN, G.W. Analysis of rainfall distribution in the Amazon basin using kriging, nonparametric statistics and GIS techniques. I. Seasonal oscillations. In: WORKSHOP ON SPECIAL TOPICS ABOUT SOIL PHYSICS AND CROP MODELING AND SIMULATION, 18-20 jun. 1997, Piracicaba, SP. **Anais...** Jaguariuna : Embrapa-CNPMA, 1997. p.24-30. (Embrapa-CNPMA, Documentos, 6).

- SOULÉ, M.E. What is Conservation Biology? **BioScience**, v.35, n.11, p.727-734, Dec. 1985.
- STAR, J.; ESTES, J. **Geographic information systems: an introduction**. Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1990. 303p.
- TEIXEIRA, A.; MATIAS, L.; NOAL, R.; MORETTI, E. Qual a melhor definição de SIG. **Fator GIS**, v.3, n.11, p.20-24, out./nov./dez. 1995.
- TEUBNER JÚNIOR, F. Uma nova visão da costa brasileira. **Fator GIS**, v.2, n.7, p.32-34, out./nov./dez. 1994.
- TOLBA, M.K. **Saving our planet**. London : Chapman & Hall, 1992. 287p. il.
- TOWNSHEND, J. Geoprocessing technologies for environmental analysis planning and monitoring. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo : EPUSP, 1990. p.109-17.
- TRICART, J.; KILIAN, J. **L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel**. Paris : François Maspero, 1979. 325p. (Collection Hérodote).
- VALENZUELA, C.R. ILWIS Overview. In: MEIJERINK, A.M.J.; VALENZUELA, C.R.; STEWART, A. **ILWIS: the integrated land and watershed management information system**. Amsterdam : ITC, 1988. p.4-14.
- ZONTA, M. **Carta de uso e cobertura do solo: utilização de imagens de satélite TM-Landsat e sistema de informações geográficas - SIG**. São Paulo : FFLCH-USP, 1995. 43p. 1mapa. color. (Trabalho Individual de Graduação).