

Geoprocessamento no Apoio à Decisãoⁱ

Geoprocessing in Decision Support

Le Géotraitement Dans L'appui a la Decision

Jorge Xavier da Silvaⁱⁱ

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: Iniciando com colocações e discussões teóricas sobre a Geografia e o meio ambiente, o texto apresenta, a seguir, o conceito de Sínteses Intermediárias e suas relações com o apoio à decisão. Um exemplo de Síntese Intermediária, denominado Árvore de Gestão Espacializada, é apresentado em relativo detalhe, mostrando as possibilidades de análises custo *versus* benefício através de simulações. Conclusões são apresentadas sobre a importância das estruturas de integração da informação ambiental como geradoras de apoio à decisão.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Apoio à Decisão; Gestão Ambiental.

Abstract: Theoretical considerations about Geography and the environment are made initially in the text. The concept of Intermediate Synthesis in relation to decision support is briefly discussed. A Spatialized Management Tree is presented as an example, showing some of its useful applications, including cost-benefit analysis coupled with simulations. Conclusions are presented concerning the importance of integrative informational structures as decision support procedures.

Keywords: Geoprocessing; Decision Support; Environmental Management.

Résumé: En débutant par un débat théorique sur les liens entre la géographie et l'environnement, l'article souligne à la suite le concept de synthèses intermédiaires et ses rapports avec l'appui à la décision. Pour illustrer ce concept, on présente de façon détaillé l'exemple de l'arbre de gestion spatialisée, en indiquant les possibilités de l'analyse coût-bénéfice à travers de simulations. Nos conclusions vont de pair avec l'importance des structures d'intégration de l'information environnementale en tant que promotrices de l'appui à la décision.

Mots-clés: Géotraitement; L'appui à la Décision; Aménagement Environnemental.

ⁱ Artigo originalmente publicado na Revista Continentes (UFRRJ), ano 5, n. 9, 2016 (ISSN 2317-8825).

ⁱⁱ Professor do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências (*in memoriam*).

Embasamento Conceitual e Metodológico

O Geoprocessamento (XAVIER-DA-SILVA, 2009) pode ser considerado um conjunto de conhecimentos teóricos, conceituais e metodológicos, aos quais estão associados desenvolvimentos tecnológicos recentes, principalmente de sensoriamento remoto e processamento de dados, que lhe conferem, ao mesmo tempo, prestígios devidos e indevidos.

O Geoprocessamento não é panaceia científica e gerencial. Tem grande valor para o apoio à decisão, se corretamente associado a procedimentos que promovam a inclusão dos conhecimentos, por ele gerados, em pesquisas ambientais ou no planejamento e gestão de ambientes (Geoinclusão). Não deve ser usado, apenas, em procedimentos que lhe tragam exagerada valorização, o que pode acontecer quando esta geotecnologia é simploriamente aplicada somente na obtenção e exibição de formosos mapeamentos e imagens digitais, de grande apelo visual, mas que representam, por definição, visões fragmentárias, taxonômica, temporal e espacialmente. Como tal, carecem ser “geoincluídas”.

Algumas considerações sobre tratamento automático de dados georreferenciados poderão trazer maior esclarecimento sobre a natureza e o valor do processamento de dados aplicado aos estudos ambientais e apoiado no conceito de Geoinclusão (XAVIER et al., 2011; XAVIER-DA-SILVA; MARINO, 2011, 2012), o que será feito a seguir.

Conforme sugerido acima, o conhecimento ambiental é notoriamente baseado em *dados*, que são registros de ocorrência de fenômenos, e *informações*, que, por sua vez, são incrementos {ou seja, ganhos} daquele conhecimento. Esse conhecimento pode ser voltado para a integração de dados de diferentes origens, a serem colocados em contexto (Geoinclusão), transformando-se, assim, em elementos relevantes de apoio à decisão.

Este procedimento implica, ainda hoje, nas clássicas tarefas de identificação e classificação de fenômenos, que são alterações perceptíveis da realidade. Nos estudos ambientais, essas tarefas são geradoras de mapas temáticos, usualmente por um método que pode ser denominado *Inspecção Pontual e Generalização* (IPG). Saliente-se que esse método é inteiramente válido e coerente com a visão kantiana de geração empírica do conhecimento (*razão a posteriori*). Em síntese, locais identificados pela mente humana como relevantes no referencial adotado (imagens, mapas, planos de amostragem, relatos, são alguns exemplos) são usados como chaves de interpretação. Por reflexão quanto às suas principais características e abstração de diferenças julgadas irrelevantes, é feita a generalização para a área geográfica postuladamente abrangida pela classe de fenômeno analisada (legenda do mapa temático, por exemplo).

Apesar dos progressos no reconhecimento de padrões e no uso de outros métodos de obtenção de classificações automáticas de fenômenos ambientais, a IPG ainda é majoritariamente usada em estudos ambientais, os quais demandam interpretação de mapas e imagens e, muitas vezes, trabalhos de campo e respectivas amostragens, nas quais a identificação e interpretação de fenômenos ambientais exige a capacidade humana para

tomar decisões em situações de incerteza e ambiguidade, muito comuns em problemas ambientais.

Situação notavelmente diferente ocorre quando se torna necessário reproduzir as condições de convergência espacial e temporal de fatores causadores de fenômenos ambientais. Nos estudos ambientais, neste caso, são requeridas inspeções setoriais detalhadas nos mapas temáticos e a correspondente integração espacial de ocorrências conjugadas incidentes em suas áreas geográficas. Em outras palavras, busca-se o conhecimento sistemático das numerosas ocorrências convergentes de tipos de fenômenos (as classes de vários mapas temáticos, por exemplo). Este tratamento visa reproduzir, certamente de maneira incompleta, a axiomática ocorrência conjugada de entidades e eventos ambientais.

É também palmar que a mente humana tem limitações quanto a comparações de formas e cores em grande quantidade, por limitações de percepção e cansaço. Em contraste, buscas exaustivas de ocorrências coincidentes, acompanhadas da respectiva identificação de suas expressões espaciais, é tarefa de processamento de dados que pode ser executada, praticamente, por qualquer equipamento de computação eletrônica, atualmente. Em outras tantas palavras, o computador excede, por ordens de magnitude, a capacidade humana de executar o rastreamento sistemático de fenômenos registrados em mapas digitais. Evidentemente, cumpre aproveitar esta capacidade, sabendo, entretanto, que novas regras de relacionamento com os dados serão geradas, tais como procedimentos e sinais especiais, que terminam por se erigir em uma nova semiótica. Nela, mapas digitais não são feitos para serem primordial e diretamente analisados apenas pela mente humana.

Os mapas passaram a ser parte integrante de modelos digitais do ambiente. Neles estão armazenados dados e informações que permitem a análise geotopológica (XAVIER-DA-SILVA; ZAIDAN, 2007) – investigação das entidades e eventos ambientais existentes e de suas relações – das condições ambientais ocorrentes em uma ocasião, em uma determinada área geográfica.

Varreduras exaustivas de possíveis ocorrências especificadas de fenômenos e as correspondentes identificações de suas áreas de ocorrência podem ser efetuadas com relativa facilidade. Este procedimento metodológico pode ser denominado *Varredura Analítica e Integração Locacional* (XAVIER-DA-SILVA, 2001). Sua utilização, que aparentemente se restringe a buscas de conjuntos de características ambientais coincidentes em área, pode ser expandida consideravelmente, passando a constituir-se em um método generalizado de investigação de ocorrências, proximidades, decorrências, precedências e outras coincidências temporais e causais presentes no arcabouço geotopológico da área geográfica sob estudo.

As buscas automatizadas ordenadas e eficientes disponíveis por Geoprocessamento ganham particular valor hoje em dia. Esforços internacionais e nacionais visando estimular e disciplinar a disseminação do conhecimento através do acesso franco a dados estão sendo realizados, como é o caso dos projetos Data.Gov.UK (<http://www.data.gov/>), INDE (<http://www.inde.gov.br/>) e, mais recentemente, o Decreto 13.117 de 15/09/2011,

que institui o Plano Nacional sobre Governo Aberto (www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Dsn/Dsn13117.htm).

Cabe aos pesquisadores da área ambiental acompanhar e contribuir para o incremento do contato facilitado e difundido com os dados, principalmente através de redes, procurando visualizar e concretizar estruturas lógicas e físicas de análise e integração de dados e a decorrente geração de informações ambientais, a serem produzidas e disseminadas em tempo útil para fins de planejamento e gestão de ambientes. Um desses caminhos é a criação e desenvolvimento de sistemas de informação ambiental, preferentemente de baixo custo para as instituições e fácil utilização pelos pesquisadores, tarefa a que alguns têm se dedicado por muitos anos.

Como pesquisadores, nossa atenção tem sido centrada na caracterização e entendimento de problemas ambientais. Com este objetivo temos desenvolvido técnicas de análise e integração de dados através do uso maciço do Geoprocessamento.

Não foi descuidada, entretanto, a devida colocação destas técnicas dentro de um contexto metodológico adequado, com o devido acompanhamento conceitual. Tentando coordenar essas três faces da pesquisa – conceitos, métodos e técnicas – o presente projeto dirige-se à expansão de verificações da validade desta forma ordenada de investigação ambiental, dirigida à criação de instrumentos de planejamento e gestão de ambientes, em associação com mecanismos de comunicação.

Sínteses Intermediárias para Apoio à Decisão

O Geoprocessamento entende-se como um conjunto de conceitos, métodos e técnicas dirigidos à transformação de dados ambientais georreferenciados em informação relevante para a compreensão e o manejo de ambientes, existindo atualmente o risco de ocorrer, algumas vezes, certo afastamento deste nobre objetivo. Tal acontece quando os tratamentos de dados ambientais se dirigem a objetivos específicos que, se bem que possam ser valiosos por representarem um aprofundamento do conhecimento científico, também representam, algumas vezes, parcelas relativamente reduzidas de contribuição para a geração do muito necessário arcabouço de entendimento do ambiente, que é a base racional do manejo ambiental. Essa deficiência é manifesta quanto à contribuição relativa ao apoio à decisão.

Em um quadro de pesquisa reflexa em relação ao ambiente científico internacional, quadro este estimulado, às vezes, por políticas de incentivo a objetivos de investigação científica atrelados a planejamentos estratégicos divergentes de nossos interesses como país, em princípio cumpre estimular, entre nós, a pesquisa ambiental autóctone, que é necessariamente idiográfica. As nossas pesquisas ambientais precisam contar com instrumentos que nos permitam entender e dominar as peculiares potencialidades e limitações que se apresentam em nosso território. É decorrência imediata desse objetivo de entendimento e manejo que as pesquisas ambientais no Brasil precisam dirigir-se à geração de apoio à decisão quanto aos nossos prementes problemas ambientais, claramente necessitando de múltiplas ações concomitantes, e muito bem coordenadas no tempo e no espaço.

O trabalho interdisciplinar é estimulado pelas agregações paulatinas, que induzem avaliações conjuntas das equipes participantes, podendo ser exercido por equipes especializadas segundo os setores da árvore (partes de Geociências, de Saneamento, de Saúde, de Educação, entre outras).

É afirmado claramente neste texto, para evitar interpretações menos nobres, que deve haver liberdade para investigar aspectos científicos absolutamente específicos de qualquer problema. Deve ficar também claro que, no caso da pesquisa ambiental, existem outras alternativas, tais como as vinculadas ao estímulo à produção científica capaz de fornecer abundante apoio à decisão dirigido à gestão ambiental. No caso do Geoprocessamento, tal alternativa pode ser entendida como a criação de procedimentos integradores dos dados ambientais e aptos a gerar estruturas informacionais destinadas a apoiar decisões. É aqui proposto o termo “sínteses intermediárias”, para estas estruturas, algumas delas elencadas a seguir.

Sínteses Intermediárias

- Probabilidades de ocorrência (assinaturas ambientais)
- Monitoria ambiental / Séries históricas
- Análises de expansões orientadas
- Identificação de proximidades múltiplas
- Avaliações por critérios múltiplos
- Identificação e cotejo de áreas críticas
- Comparações entre incongruências de uso
- Estimativas de impactos ambientais
- Índices de geodiversidade
- Potenciais conflitantes
- Árvores de Gestão Espacializada
- Relações Oferta x Demanda e Análises custo/benefício
- Simulações sinérgicas
- Interações espaciais
- Planos de contingência
- Zoneamentos por critérios reproduzíveis

Como exemplo de aplicação destas técnicas, que compõem uma metodologia de Geoprocessamento voltada para o apoio à decisão, será apresentada a seguir a então denominada “Árvore de Decisão”, atualmente designada também como “Árvore de Integração” e, no presente projeto, pode ser renomeada como “Árvore de Gestão Espacializada”. Esta aplicação é oriunda de uma investigação conduzida por órgãos da Defesa Civil de Juiz de Fora (MG), e contribuiu para que um trabalho sobre desastres ambientais por eles realizado, usando recursos do SAGA/UFRJ, fosse premiado em um concurso internacional ocorrido em Dubai, em 2010 (SILVA et al., 2010).

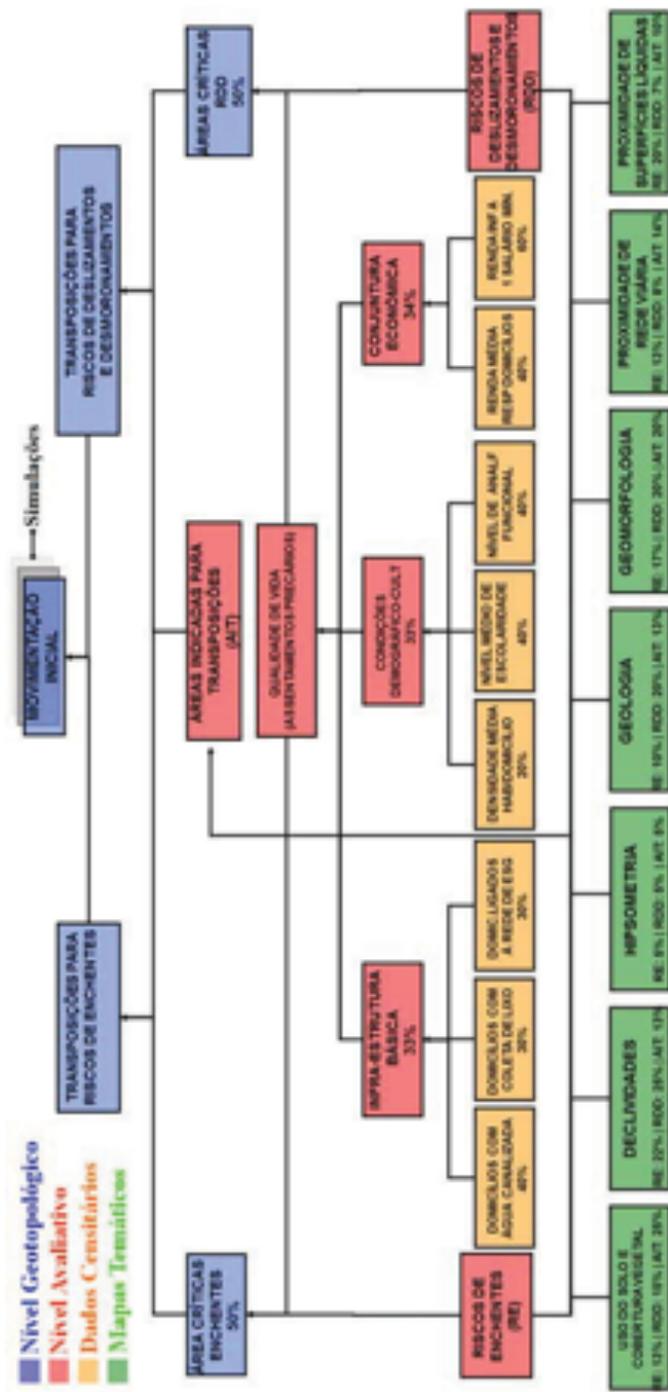


Figura 1 – Árvore de Gestão Espacializada para Transposições de Assentamentos Precários. Fonte: MARINO et al., 2012.

Algumas características da árvore representada na página anterior merecem ser destacadas. Destas características poderá ser apreendida a natureza objetiva da Rede de Gestão Especializada (RGE ou RGEN, no caso de âmbito nacional), em termos de vigilância e controle de todo o conjunto de Árvores de Gestão Especializada (AGE ou AGEM, se as unidades de aplicação de recursos forem municípios).

A geração de novos mapas digitais avaliativos pode ser feita através de diversos procedimentos de avaliação, estando implementado na versão utilizada em Juiz de Fora um esquema dos denominados *Multi Criteria Evaluations* (MCE), presentemente disponível.

No caso de uso de MCE, as agregações feitas com mapas temáticos, situados na porção mais baixa da ilustração acima (os mapas apresentados são ilustrativos, podendo ser quaisquer outros julgados relevantes), devem ser feitas de forma paulatina, por afinidades entre os temas, de maneira análoga a dos mapas censitários (em amarelo na ilustração citada).

Exemplificando com a ilustração: os mapas de Declividade e Geomorfologia podem ser avaliados para constituírem um Mapa de Fatores Naturais; os mapas de Uso da Terra e Proximidade da Rede Viária poderão ser grupados em um mapa avaliativo denominado Heranças Geo-históricas (testemunham atuações humanas anteriores); os restantes mapas de exemplo na ilustração poderiam ser constituintes de um mapa de Proximidades Fluviais. Estas agregações paulatinas de pequeno número de mapas permitem que as avaliações, a cada agregação, mantenham poder discriminador, em termos de número de classes de avaliação possíveis.

O trabalho interdisciplinar é estimulado pelas agregações paulatinas, que induzem avaliações conjuntas das equipes participantes, podendo ser exercido por equipes especializadas segundo os setores da árvore (partes de Geociências, de Saneamento, de Saúde, de Educação, entre outras).

As áreas computadas em qualquer dos mapas, a comando dos usuários, e referentes a uma categoria (ou um polígono qualquer do mapa), representam a probabilidade de ocorrência aleatória de qualquer das classes do mapa (ou do polígono selecionado), em relação à área total do mapa digital.

Permite simulações para estudo de sensibilidade de cada parâmetro (mapa participante da avaliação) ou conjunto de parâmetros em que haja interesse. Como consequência, comparações entre alterações hipotéticas nos mapas digitais. Por exemplo, nos seus pesos relativos, uma vez tornados representativos de percentuais de verbas disponíveis. Comparações entre possíveis resultados de aplicações diversas podem ser assim feitas.

Por exemplo, comparações, em termos da finalidade da árvore, entre as aplicações a serem feitas em obras ou serem feitas em educação ou saúde.

O nível geotopológico permite definição de proximidades como elemento de apoio à decisão. Por exemplo: quais as favelas que podem ser removidas para locais próximos também já identificados na árvore, quais não tem condições de ser removidas e deverão ter seus locais de ocorrência mantidos, após a indispensável eliminação dos riscos ambientais neles identificados e criadas condições mínimas de habitabilidade (conceito de “favela bairro”, atualmente usado nas grandes favelas do Rio de Janeiro).

O recorte escolhido, assim enriquecido de conteúdo informativo, pode ser lançado sobre outro mapeamento total ou parcial. Por exemplo: os bairros constantes de um mapeamento de uma cidade que foram mais beneficiados por alguma aplicação de recursos apresentam coincidência com alguma característica social, tal como pobreza da população?

São exemplos de outras avaliações/comparações/simulações com resultados de diferentes aplicações: aptidões agrícolas, diferentes potenciais turísticos, alternativas de localização industrial, riscos de epidemias, consequências de campanhas de educação, entre outros.

Como consequência de simulações, as AGEMs permitem tentativas de conciliação, através de um balanceamento dos recursos a serem aplicados, entre paradigmas naturalmente conflitantes, como Desenvolvimento Econômico, Qualidade de Vida e Sustentabilidade (MARINO et al., 2013).

Qualquer dos mapas (iniciais ou derivados das análises) pode ter a identificação de percentuais de ocorrência consultados a qualquer momento da análise e os mapas assim selecionados podem ser lançados sobre outros, permitindo definição de superposições de interesse. Ex.: percentagem de riscos de agravos pessoais (furtos, assaltos) em áreas turísticas. Os mesmos resultados (e qualquer dos mapas) podem ser lançados sobre as bases cartográficas e de imagens do *Google Earth*.

Documentações de várias naturezas, relativas às entidades e eventos identificados, podem ser armazenadas e recuperadas ao longo das análises. São exemplos: mapas, fotos, textos, vídeos.

Os resultados mapeados de avaliações podem ser colocados, total ou parcialmente, sobre recortes espaciais de interesse (bairros, setores censitários, áreas de proteção ambiental, zonas e seções eleitorais, entre outros). O recorte escolhido, assim enriquecido de conteúdo informativo, pode ser lançado sobre outro mapeamento total ou parcial. Por exemplo: os bairros constantes de um mapeamento de uma cidade que foram mais beneficiados por alguma aplicação de recursos apresentam coincidência com alguma característica social, tal como pobreza da população? A resposta pode apoiar a decisão de continuar ou não concedendo recursos financeiros à municipalidade envolvida.

Em conclusão, todo o andamento das análises produtoras das estimativas, seus resultados em termos de propostas de utilização de fundos e o acompanhamento das respectivas implementações podem ser monitorados pela cadeia de comando, a qual adquire poder de constatar atrasos e desvios de conduta em tempo útil para correção. Para isto estarão disponíveis as árvores de gestão espacializada (AGEs ou AGEM, no caso de municípios) propostas inicialmente pelos próprios solicitantes de apoio e fundos, as quais serão os elementos de controle da cadeia de comando.

Referências Bibliográficas

MARINO, T. B.; GOES, M. H. B.; SILVA, N. M. F. DA. Geoprocessamento no apoio à avaliação da qualidade de vida no município de Seropédica (RJ). *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, p. 8, 2013.

MARINO, T. B.; XAVIER-DA-SILVA, J.; QUINTANILHA, J. A. Metodologia para tomada de decisão no âmbito de riscos sócio-ambientais em áreas urbanas: desmoronamentos e enchentes em assentamentos precários na bacia do córrego Cabuçu de Baixo – SP. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 64, n. 1, p. 83-101, 2012.

SILVA, J. M.; OGURA, A. T.; SILVA, H. A.; CRUZ, J. H. M. *Plan Municipal para la Reducción de Riesgos*. Concurso de Buenas Prácticas, 2010.

XAVIER-DA-SILVA, J.; GOES, M. H. B.; MARINO, T. B. Geoinclusão: um caminho dos dados à informação. *Revista de Geografia*, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2011.

_____. *Geoprocessamento para análise ambiental*. 1. ed. Rio de Janeiro: edição do autor, 2001.

_____. O que é Geoprocessamento? *Revista do CREA-RJ*, n. 79, p. 42-44, 2009.

_____; MARINO, T. B. A Wanted Traffic. *Proceeding of the 10th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, p. 6, 2012.

_____; _____. Citizenship through data sharing in the Amazon region. *Proceedings of the 2nd International Conference on Computing for Geospatial Research & Applications – COM. Geo*, n. 11. p. 1-5, 2011.

_____; ZAIDAN, R. T. (Orgs.). *Geoprocessamento para análise ambiental: aplicações*. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.