

Sistemas de Suporte à Decisão Espacial e Aplicações

Ronei Marcos de Moraes e Ana Claudia Oliveira de Melo

Laboratório de Estatística Aplicada ao Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LEAPIG)

Departamento de Estatística – CCEN – Universidade Federal da Paraíba

{ronei, anaclaudia}@de.ufpb.br

Resumo: Como uma união interdisciplinar das Tecnologias da Informação, Geociências, Lógica e Modelos Estatísticos, os Sistemas de Suporte à Decisão Espacial (SDSS) têm sido cada vez mais utilizados para auxiliar os gestores públicos e privados, dada a abrangência e o potencial das ferramentas que os compõem. Os SDSS consideram, além de outras informações, a informação geográfica nas suas análises, enquanto que outros sistemas não a consideram. Em contínua evolução, os SDSS vêm incorporando outros tipos de sistemas para aplicações complexas e com base na Web. Este artigo traz uma breve revisão do histórico, principais conceitos e aplicações dos SDSS em diversas atividades humanas, desde a gestão de recursos humanos, gestão em negócios, monitoramento de desastres e gestão em saúde.

Palavras-chave: *Decision Support Systems; Geographical Information Systems; Spatial Decision Support Systems.*

1. Introdução

Ao longo da história humana sempre houve a necessidade de se tomar decisões. As decisões tomadas pelos antepassados humanos, desde a mais remota antiguidade, preconizaram a evolução humana ao longo da história até o momento presente. Todas as decisões tomadas influenciaram e continuarão a influenciar a história humana e é conhecido que toda decisão tomada acarreta consequências, previsíveis ou não. Atualmente, empresas e governos tem ciência desse fato e se utilizam da tomada de decisão científica de modo a minimizar custos, otimizar recursos (humanos, tecnológicos, etc.) ou minimizar efeitos indesejados na gestão pública e ou privada [1]. Uma das formas de se obter isso é otimizar os recursos, a partir da tomada de decisão (DM – *decision-making*) eficiente. O processo de tomada de decisão envolve a escolha da melhor decisão para a solução de um problema específico ou uma meta a ser alcançada, de modo inteligente [2]. O uso de Sistemas de Suporte a Decisão (DSS – *Decision Support Systems*) que auxiliem a tomada de decisão, solucionando as diversas demandas e minimizando os erros é essencial [3], principalmente quando o ambiente de decisão é dinâmico. Em alguns casos, deve-se levar em consideração informações geográficas como variáveis dentro do modelo para a tomada de decisão, o que não ocorre nos DSS. Por exemplo quando na saúde pública, deseja-se saber quais municípios de um estado tem alto risco para desenvolver uma epidemia, a informação geográfica deve ser levada em consideração nessa análise, pois municípios com características demográficas e sócio-econômicas similares podem ter diferentes epidemiológicas. Desse modo, pode-se alocar os recursos financeiros e humanos para melhor combater a doença. Um outro exemplo é a tomada de decisão sobre a melhor rota a ser tomada por um transporte de uma empresa logística visando minimizar custos e maximizar a eficiência da coleta ou entrega de encomendas. A informação geográfica das possíveis rotas, seu relevo, tempo a ser gasto, condições de tráfego, entre outras variáveis são fundamentais para a efetiva solução do problema. Nesses casos, esses sistemas devem ser capazes de lidar com esse tipo de informação, pois a componente geográfica ou espacial é determinante e influencia a decisão final [4]. Esses sistemas são denominados Sistemas de Apoio à

Decisão Espacial (SDSS – *Spatial Decision Support Systems*) e estão cada vez mais difundidos como ferramentas de auxílio para a tomada de decisão eficiente [5]. Os SDSS são comumente aplicados em gerenciamento urbano de águas (localizando águas poluídas, ou regiões de seca), riscos e acessibilidade, cuidados à saúde, sociologia, administração e marketing e agronomia, entre outras áreas do conhecimento humano. Para desenvolver e utilizar estes sistemas, necessita-se de conhecimentos interdisciplinares ligados às áreas das Geociências, Ciências da Informação, Lógica e Estatística Espacial [6].

Este artigo visa introduzir conceitos básicos a respeito da tomada de decisão científica considerando a informação geográfica nesse processo. Aplicações em várias áreas da ciência são apresentadas e discutidas ao final.

2. Um breve histórico e principais conceitos

A necessidade de processar dados transformando-os em informação, foi em grande parte a responsável pela origem dos Sistemas de Informação (SI). As agências governamentais, tais como o *US Census Bureau* foram pioneiras no uso das técnicas de processamento de dados. Isso originou, de forma representativa, a aplicação da tecnologia informática em aplicações governamentais empresariais e administrativas. A Tecnologia da Informação (TI) é a ferramenta básica que auxilia os processos de tomada de decisão. Esta tecnologia começou a ser desenvolvida na década de 1950 com a necessidade da geração de folhas de pagamento, cobranças e pagamentos das empresas [4].

A partir da TI foram criados os DSS há cerca de 40 anos. Um DSS pode ser definido, como sendo um sistema computacional que auxilia a tomadores de decisão nas análises e proposição de soluções para os problemas em estudo, através da simulação de cenários possíveis. Este sistema inclui: aquisição de informações sobre o próprio estudo de caso, aquisição de informação sobre o próprio *software*, modelo de sistema de controle da evolução do projeto, modelos de análise de dados e simulação, visualização dos resultados obtidos e planejamento das ações. O DSS utiliza a combinação de modelos (físicos, abstratos, simbólicos e matemáticos), técnicas analíticas e

recuperação de informações para desenvolver e avaliar problemas complexos [1].

O desenvolvimento de interfaces gráficas, da Internet, da própria área de TI e a necessidade de sistemas que levem em consideração a componente geográfica deu origem aos GIS (*Geographical Information Systems*). Os GIS integram ferramentas que possibilitam ao gestor uma ampla visão do problema em estudo, permitindo a visualização de informações espaciais em diversos formatos, através da interpretação de dados oferecidos pelo próprio sistema [8, 9, 10]. Sua estrutura de dados é baseada em coordenadas geográficas que permitem a localização espacial dos elementos da área envolvida no estudo [10]. Ele permite o mapeamento da região que envolve o problema em estudo e possibilita a codificação, o armazenamento e a análise de dados espaciais e alfanuméricos. O GIS é composto por um ambiente gráfico aliado a um banco de dados alfanumérico e associa atributos gráficos e não-gráficos [8].

Segundo Brail e Klosterman [9] os DSS podem ser compostos com um GIS. Assim, esse sistema pode incorporar, além de ferramentas tradicionais do DSS, também pode incorporar aquelas referentes aos GIS. Assim, a necessidade de se tomar decisões pelos gestores em diversos campos do conhecimento humano, com base na informação geográfica levou ao desenvolvimento dos SDSS.

Os SDSS incorporam os componentes essenciais de um DSS, como: banco de dados (espaciais e não espaciais), modelos analíticos e de simulação. Dos GIS, os SDSS herdaram o georreferenciamento da informação (atrelar a localização geográfica a cada informação do banco de dados), a possibilidade de usar diferentes componentes geográficas de forma integrada ou em separado e a interface direcionada ao tratamento de informações geográficas. Assim, o SDSS dispõe de estrutura para integrar: i) capacidades de modelagem analítica e espacial; ii) gerenciamento de dados espaciais e não-espaciais; iii) conhecimento de domínio; iv) capacidades de exibição espacial; e v) capacidades de gerar relatórios [11]. Portanto, os SDSS permitem auxiliar os gestores na tomada de decisão sobre problemas espaciais complexos, permitindo construir e analisar cenários alternativos [12].

Atualmente, os SDSS evoluíram para possibilitar trabalhos colaborativos em ambientes baseados na *World Wide Web*, originando os Web-SDSS (*Web-based Spatial Decision Support Systems*) [13]. O processo participativo no Web-SDSS pode ocorrer dos seguintes modos: entre participantes que se encontram num mesmo lugar ao mesmo tempo; entre colaboradores que apesar de estarem numa mesma localidade podem acessar o sistema em diferentes períodos; entre colaboradores localizados em lugares diferenciados, mas conectados ao mesmo tempo; e entre colaboradores localizados em locais e horários diferentes [14].

3. Aplicações

Os sistemas de tomada de decisão assumiram um papel fundamental em diversas áreas do conhecimento humano. Muitas aplicações podem servir para ilustrar

sua utilidade, tais como na segurança pública. Na Espanha, devido a restrições de contingente, o Corpo de Polícia Nacional Espanhol utiliza um sistema para cadastrar espacial (mapeando os locais de ocorrências) e temporalmente eventos criminais e toma decisões sobre a distribuição do seu efetivo nas diferentes zonas dos distritos policiais [6].

Na área de saúde, um Web-SDSS foi criado para auxiliar o gestor a tomar decisões baseado em evidências na alocação de recursos de saúde nas áreas rurais do Canadá [15]. Usando um sistema baseado em regras *fuzzy*, combinado com análises estatísticas, espaciais e espaço-temporais, foi proposto um SDSS para tomada de decisão sobre áreas prioritárias para o combate à Tuberculose em João Pessoa, Paraíba [16].

Na área da administração e gestão urbana, o gerenciamento de água é de especial interesse. No Reino Unido foi desenvolvido um SDSS em três estágios usando sistemas de inferência *fuzzy* do tipo 1 e tipo 2, agregação e otimização para a elaboração de estratégias para a economia de água, dadas restrições específicas de demanda [17]. Na Polônia, um SDSS foi delineado para combinar análise espacial e em rede para avaliar a acessibilidade a serviços específicos, como escolas, em uma área urbana. Os resultados são compartilhados com usuários em potencial a partir de uma aplicação Web, permitindo criar mapas interativos e orientados aos usuários. O objetivo é auxiliar esses usuários a tomar decisões sobre seus futuros locais de moradia [18]. Klosterman [19] aborda o PSS (*Planning Support Systems*) que usa ferramentas analíticas e modelos de simulação computacional com exibições gráficas como uma opção para os gestores políticos urbanos e aos cidadãos, meios para visualizar futuros alternativos para suas cidades e regiões. Esses sistemas se concentram nas opções de desenvolvimento de uso da terra, transporte e nas consequências ambientais e fiscais dessas escolhas.

Na área ambiental Rayed [20] discute o uso de um GIS como um gerador de um DSS e a partir deste, criou um SDSS com o objetivo de usá-lo para auxiliar a tomada de decisão solucionando problemas como a propagação de doenças através das águas dos rios atingidos pela poluição industrial no Egito. Cohen et al. [21] usaram um SDSS (baseado em três critérios: contínuo, discreto e booleano) para auxiliar os agricultores na decisão de pulverização da região de plantio baseado no mapeamento (através das coordenadas geográficas) da presença de moscas-das-frutas do Mediterrâneo (*Medfly*) para o controle da praga nos cítricos em Israel.

Na área de transportes Ploskas et al. [22] usou um SDSS para minimizar as rotas de transportes logísticos usando mapas do Google interativo. As informações geográficas (coordenadas de localização) do local selecionado são enviadas para dois decisores, que decidem qual a rota que o transporte percorrerá visando a melhor relação custo benefício para a empresa.

Na área de monitoramento de desastres, Sang et al. [23] construíram um sistema para localizar em tempo real regiões na província de Sishuan, na China, que ultrapassem os limites de precipitação. Este SDSS é capaz de fornecer mapas e previsões de inundações com base em históricos anteriores.

Novas arquiteturas para SDSS tem sido propostas visando aplicações gerais em tomada de decisão. Como

exemplos podem ser citadas as arquiteturas propostas por Segrera, Ponce-Hernández e Arcia [24] para planejamento e gerenciamento do uso da terra, cuja aplicação foi a atividade produtiva de açúcar em Cuba. Outra arquitetura para SDSS foi proposta por Moraes, Nogueira e Sousa [25] para suporte à tomada de decisão sobre áreas prioritárias de acordo com a epidemiologia de doenças específicas. Esta mesma arquitetura foi aplicada à epidemiologia do HIV-Aids no Estado da Paraíba. Delgado et al. [26] propuseram um conceito integrando Web-SDSS, Serviços Baseados em Localização e Sistemas de Recomendação dando origem ao CA-SDSS (*Context-aware Spatial Decision Support Systems*). Os autores propuseram uma arquitetura para um CA-SDSS de modo a poder recomendar serviços baseados no perfil do usuário, no contexto no qual ele está inserido e sua localização espacial.

4. Discussão

Os SDSS têm se tornado importantes ferramentas no apoio à tomada de decisão em muitas áreas da gestão pública ou privada, como por exemplo, na alocação de recursos humanos, técnicos e financeiros que deve ser feita com a menor chance de erro possível. Atualmente é notado o aumento da complexidade dos problemas na gestão de recursos de maneira geral. Crises hídricas (secas), econômicas e sociais (saúde, educação, segurança pública, mobilidade, etc.) mostram que a componente geográfica ou espacial deve ser considerada e será cada vez mais relevante nas tomadas de decisões. Particularmente, um SDSS é útil na alocação de escassos recursos de forma a maximizar os seus usos em localidades específicas, minimizando os possíveis erros de avaliação e evitando consequências não esperadas. Futuras integrações dos SDSS com outros sistemas permitirão a tomada de decisão com base em um maior número de informações, com as facilidades e portabilidade dos serviços *Web* [27].

Outras formas de integração estão sendo propostas em áreas correlatas. Recentemente foram propostos princípios para o compartilhamento de dados na *Web*, com formato específico para leitura automatizada, para uso de administradores públicos, empresas e cidadãos, que recebeu o nome de LOD (*Linked Open Data*) [28]. A partir de subconjuntos específicos de LOD têm sido propostos serviços agregando componentes de *Big Data* e LOD geoespaciais (*Geospatial Linked Open Data*) [29]. Novos métodos de auditoria foram propostos, usando amostragem aleatória espacial e GIS combinadas com ambientes virtuais disponíveis na *Web*, como o *Google Street View*, visando agilizar auditorias em tempo real [30]. Pesquisas sobre o uso do posicionamento geográfico do usuário, aliado aos GIS com foco em segurança e treinamento, podem usar realidade virtual (VRGIS) e aumentada (ARGIS) e já estão sendo pesquisadas [31]. Do mesmo modo, jogos *on-line* já estão sendo desenvolvidos para utilizar essas tecnologias [31]. Futuramente, esses desenvolvimentos trarão impactos sobre o delineamento de futuros SDSS, que poderão incorporar ambientes virtuais e auxiliar a tomada de decisão em tempo real com base na interação com esses ambientes.

Agradecimentos

Esse projeto é parcialmente financiado pelo CNPq (Processo 308250/2015-0) e está relacionado aos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia: Medicina Assistida por Computação Científica (Processo 573710/2008-2) também financiado pelo CNPq.

Bibliografia

- [1] Turban, E.; Aronson, J. E. (1998) *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Prentice Hall.
- [2] Feney, M.E.; Williamson, I. (2002) The role of institutional mechanisms in spatial data infrastructure development that supports decision mark. *Cartography* 31(2):21-37.
- [3] Arnott, D; Pervan, G. (2005) A critical analysis of Decision Support Systems research, *Journal of Information Technology* 20(2):67-87.
- [4] Keenan, P. B. (2003) *Spatial Decision Support Systems, Em: Decision Making Support Systems: Achievements and challenges for the New Decade*. Edit. M. Mora, G. Forgionne e J. N. D. Gupta, Idea Group, p. 28-39.
- [5] Malczewski, J. (2006) GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science* 20(7):703-726. DOI: 10.1080/13658810600661508
- [6] Camacho-Collados, M.; Liberatore, F. (2015) A decision support system for predictive police patrolling. *Decision Support Systems* 75(7):25-37. DOI: 10.1016/j.dss.2015.04.012
- [7] Keenan, P. B. (2006) Spatial decision support systems: a coming of age. *Control and Cybernetics* 35(1):9-27.
- [8] Aronoff, S. (1989) *Geographical Information Systems: A Management Perspective*. WDL Public.
- [9] Brail, R. K.; Klosterman, R. E. (Eds). (2001) *Planning Support Systems: Integrating Geographic Information Systems, Models, and Visualization Tools*, ESRI Press.
- [10] Huxhold, W. E. (1991) *An Introduction to Urban Geographic Information Systems*. Oxford University Press.
- [11] Armstrong, M. P.; Densham, P. J. (1990) "Database Organization Strategies for Spatial Decision Support Systems," *International Journal of Geographical Information Systems* 4(1):3-20. DOI: 10.1080/02693799008941525
- [12] Sugumaran R.; DeGroote J. (2001) *Spatial Decision Support Systems: principles and practices*. CRC Press.
- [13] Sugumaran V.; Sugumaran R. (2007) *Web-based Spatial Decision Support Systems (WebSDSS): Evolution, Architecture, and Challenges*. *Communications of the Association for Information Systems* 19(40).
- [14] Jankowski, P. E.; Nyerges, T. (2001) *Geographic Information Systems for Group Decision Making*. Taylor and Francis.
- [15] Schuurman, N.; Leight, M.; Berube, M. (2008) A Web-based graphical user interface for evidence-based decision making for health care allocations in rural areas. *International Journal of Health Geographics* 7(49). DOI: 10.1186/1476-072X-7-49
- [16] Sá, L. R.; Nogueira, J. A.; Moraes, R. M. (2015) Decision model on the demographic profile for tuberculosis control using fuzzy logic. *Revista Eletrônica de Enfermagem* 17(2):223-237. DOI: 10.5216/ree.v17i2.27643
- [17] Makropoulos, C.; Butler, D.; Maksimovic, C. (2003) Fuzzy Logic Spatial Decision Support System for Urban Water Management. *Journal of Water Resources Planning and Management* 129(1):69-77. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:1(69)

- [18] Burdziej, J. (2012) A Web-based spatial decision support system for accessibility analysis-concepts and methods. *Applied Geomatics* 4:75-84. DOI: 10.1007/s12518-011-0057-x
- [19] Klosterman, R. E. (2001) Planning Support Systems: a New Perspective on ComputerAided Planning. Em: *Planning Support Systems: Integrating Geographic Information Systems, Models, and Visualization Tools*, Edit. R. K. Brail e R.E. Klosterman, ESRI Press, 1-23.
- [20] Rayed, C. A. (2012) Using GIS for Modeling a Spatial DSS for Industrial Pollution in Egypt. *American Journal of Geographic Information System* 1(3):33-38. DOI: 10.5923/j.ajgis.20120103.01
- [21] Cohen, Y. et al. (2008) Spatial decision support system for Medfly control in citrus. *Computers and Electronics in Agriculture* 62(2):107-117. DOI: 10.1016/j.compag.2007.12.005
- [22] Ploskas, N., Athanasiadis, I., Papathanasiou, J.; Samaras, N. (2015) A Collaborative Spatial Decision Support System for the Capacitated Vehicle Routing Problem on a Tabletop Display. In *Decision Support Systems IV - Information and Knowledge Management in Decision Processes*. Springer, p. 26-36.
- [23] Sang, X.; Xue, L.; Leng, X.; Liu, J. Zhan, L. (2017) Construction of a Decision Support System Based on GP Services, Using a Warning-Judgment Module as an Example. *International Journal of Geo-Information* 6(167). DOI: 10.3390/ijgi6060167
- [24] Segrera, S.; Ponce-Hernández, R.; Arcia, J. (2003) Evolution of Decision Support System Architectures: applications for land planning and management in Cuba. *Journal of Computer Science & Technology* 3(1):40-46.
- [25] Moraes, R. M.; Nogueira, J. A.; Sousa, A. C. A. (2014) A New Architecture for a Spatio-Temporal Decision Support System for Epidemiological Purposes. 11th International FLINS Conference on Decision Making and Soft Computing. João Pessoa, p. 17-23. DOI: 10.1142/9789814619998_0006.
- [26] Delgado, T.; González, G.; Miranda, G.; Navarro, D. G.; Graverán, A. (2013) Context-aware Spatial Decision Support Systems (CA-SDSS): Articulating Decision Support Systems, Business Intelligence and Recommender Systems considering the geospatial component. *Proc. of Fourth International Workshop on Knowledge Discovery, Knowledge Management and Decision Support*, p. 358-367.
- [27] W3C, SweoIG/TaskForces/CommunityProjects/LinkingOpenData. <https://www.w3.org/wiki/SweoIG/TaskForces/CommunityProjects/LinkingOpenData>. Acesso em 11/10/2017.
- [28] Delgado, T.; Capote, J. L.; Gonzalez, G.; Cruz, R. (2015) Big Data & Geospatial Linked Open Data to generalize Context-Aware Recommender Systems. *Proc. of 27th International Cartographic Conference*, Rio de Janeiro. <http://www.icc2015.org/abstract,533.html>. Acesso em 15/09/2017.
- [29] Chen, C.-C.; et al. (2016) Online platform for applying space-time scan statistics for prospectively detecting emerging hot spots of dengue fever. *International Journal of Health Geographics*, 15(43). DOI: 10.1186/s12942-016-0072-6
- [30] Lafontaine, S. J. V.; Sawada, M.; Kristjansson, E. (2017) A direct observation method for auditing large urban centers using stratified sampling, mobile GIS technology and virtual environments. *International Journal of Health Geographics*, v.16(6). DOI: 10.1186/s12942-017-0079-7
- [31] Boulos, M. N. K.; et al. (2017) From urban planning and emergency training to Pokémon Go: applications of virtual reality GIS (VRGIS) and augmented reality GIS (ARGIS) in personal, public and environmental health. *International Journal of Health Geographics*, v.16(7). DOI: 10.1186/s12942-017-0081-0